

Estimación de flujos atmosféricos en condiciones de turbulencia no estacionaria

Diego Arias¹, César Ojeda¹, Ph.D., Rodrigo Jiménez², Ph.D. y Javier Fochesatto³, Ph.D.



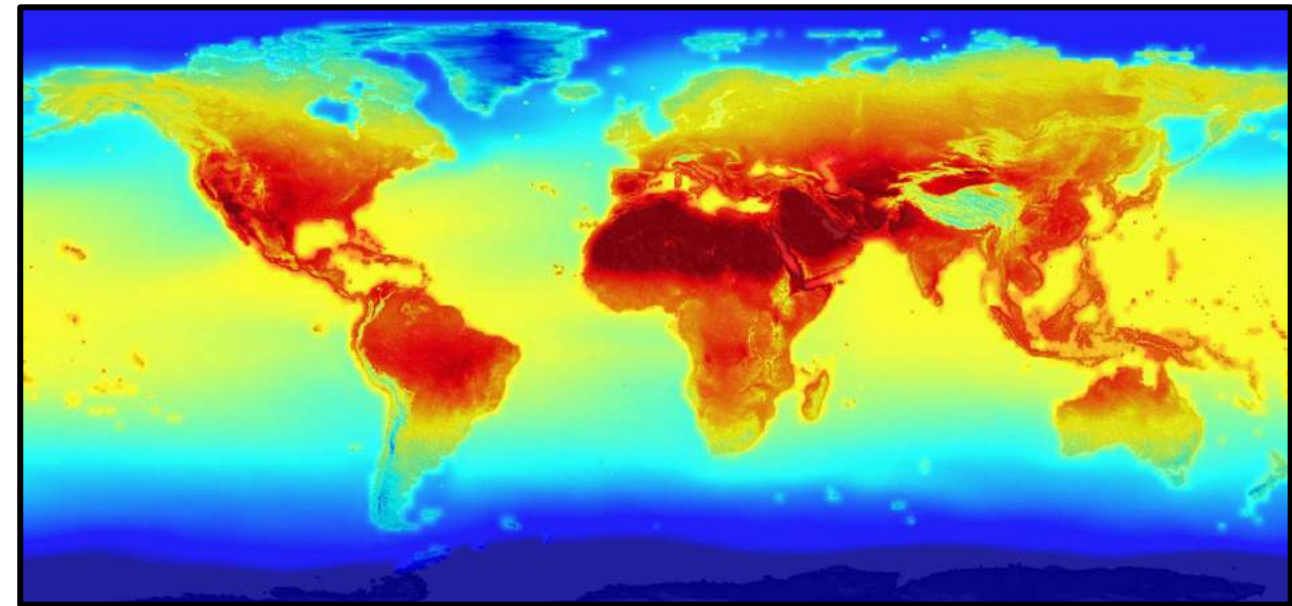
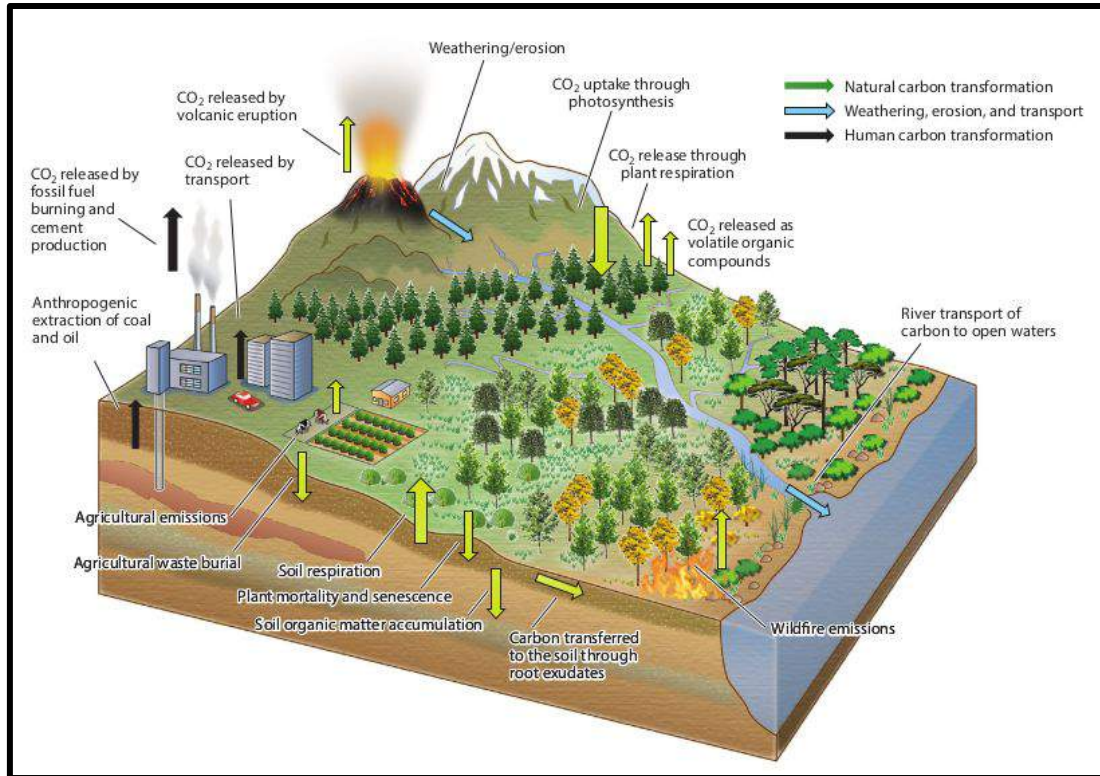
¹Escuela de Estadística, Universidad del Valle

²Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad Nacional de Colombia

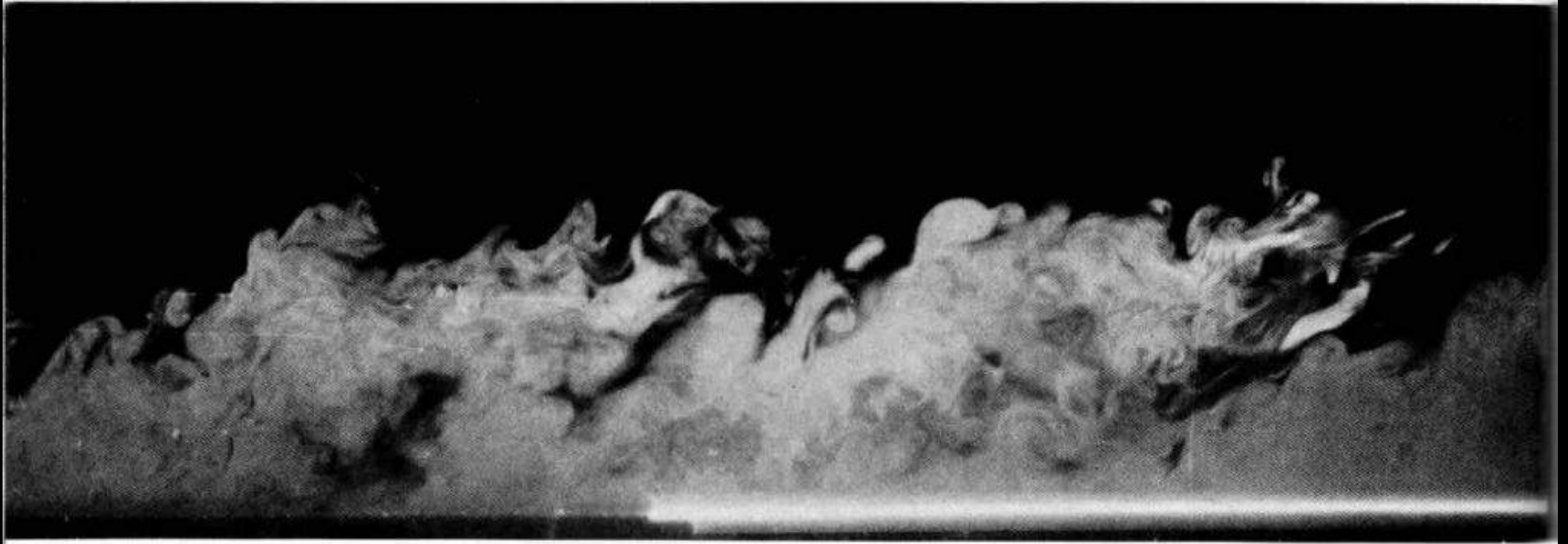
³Departamento de Ciencias Atmosféricas, Universidad de Alaska Fairbanks

Marzo 23, 2023

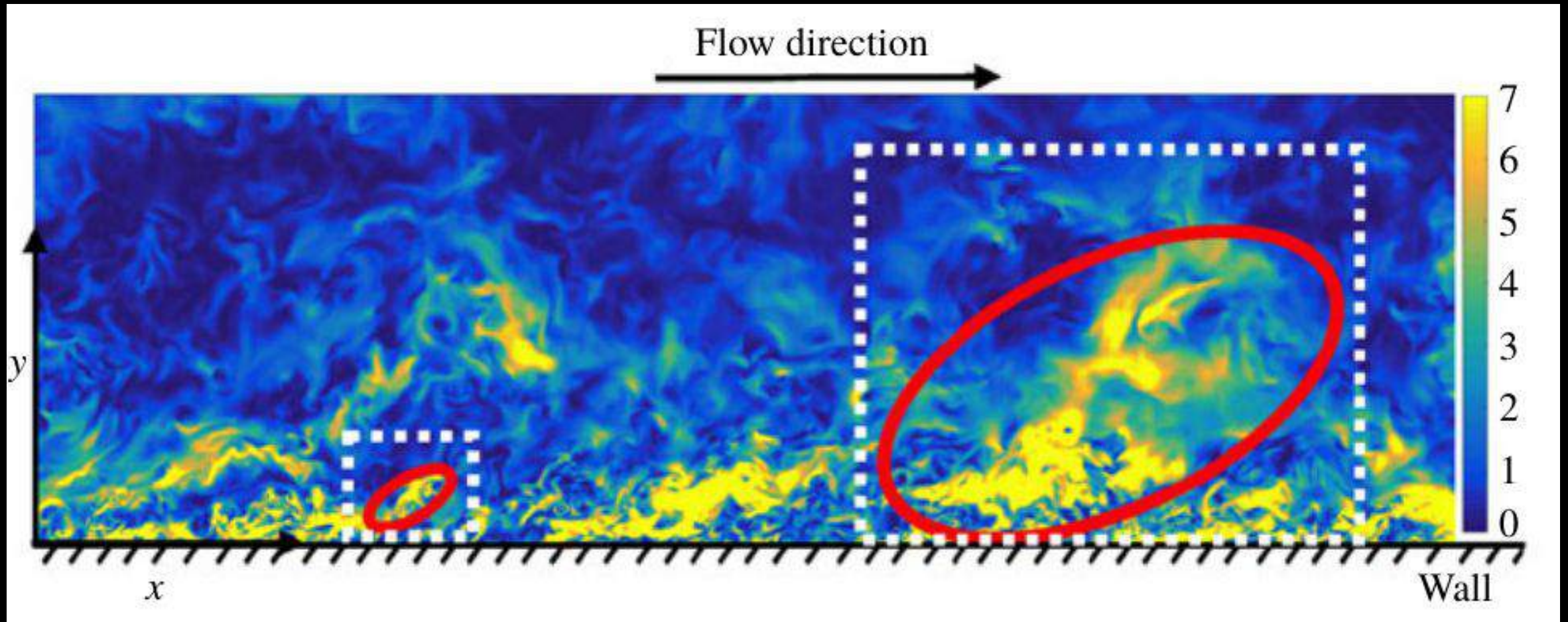
El **flujo atmosférico** se entiende como la cantidad de materia o energía que se mueve a través de una determinada área en una unidad de tiempo.



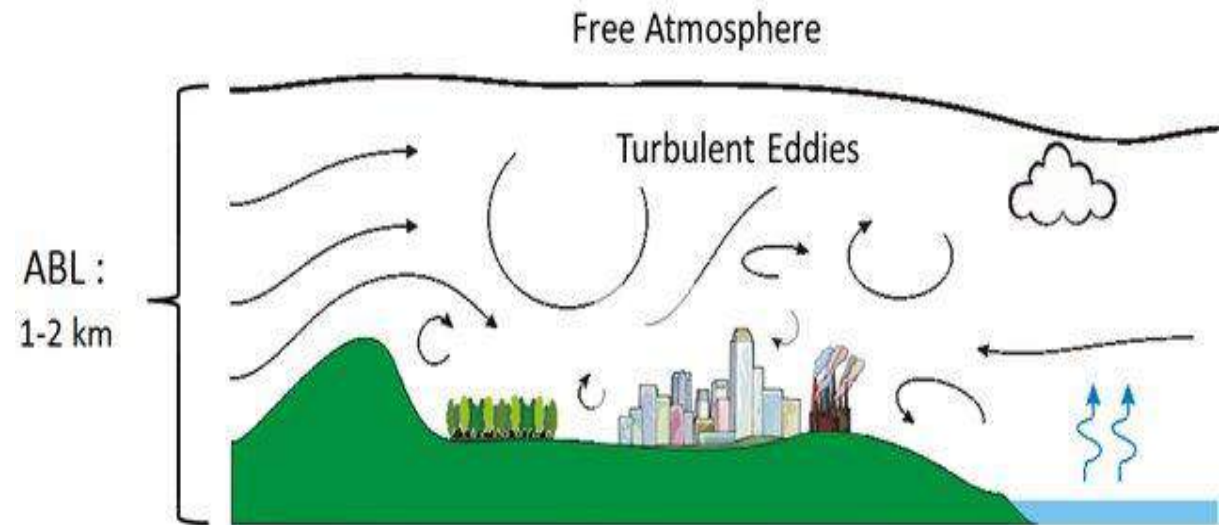
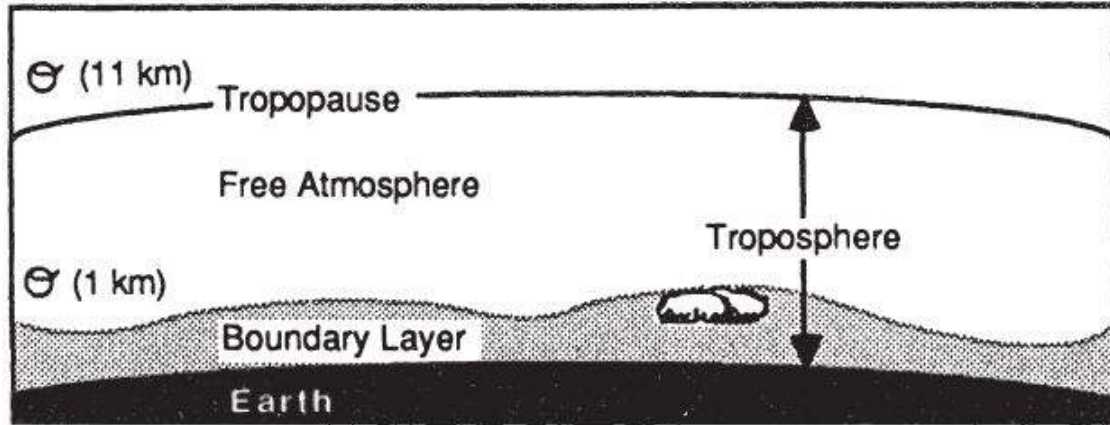
La turbulencia que se produce por la interacción entre la superficie y la atmósfera conducen el **transporte vertical** de energía y materia.



La turbulencia es un fenómeno **multiescala**, con componentes de periodos de centésimas de segundo hasta el orden de decenas de minutos



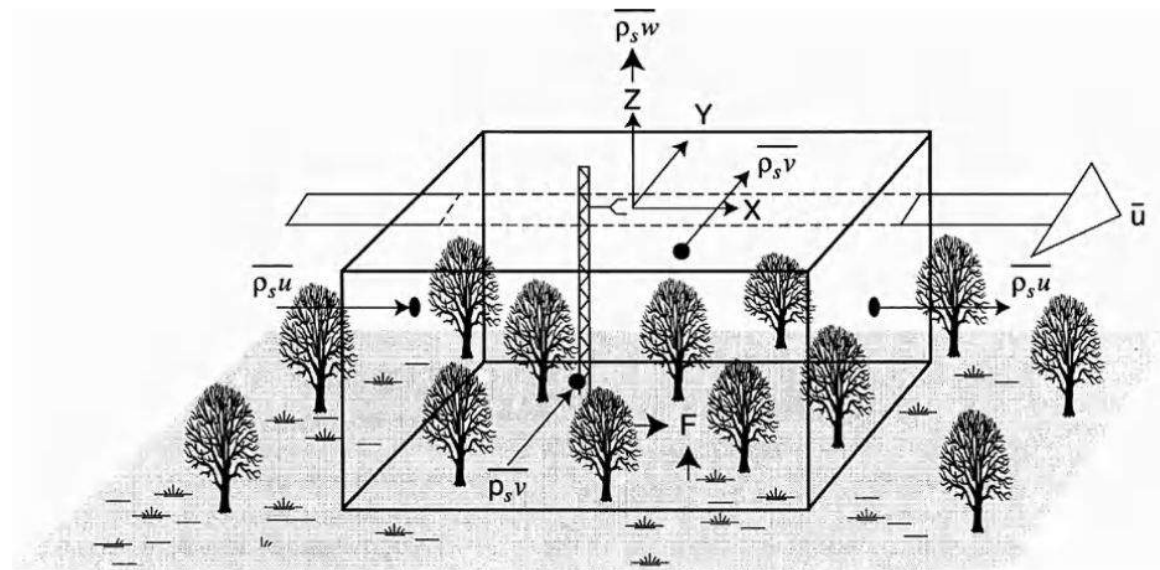
La interacción superficie - atmósfera establece una altura denominada **capa límite atmosférica**, donde se producen los procesos de dispersión de contaminantes.



los flujos pueden medirse a través de la teoría de **covarianza de remolinos (EC)**

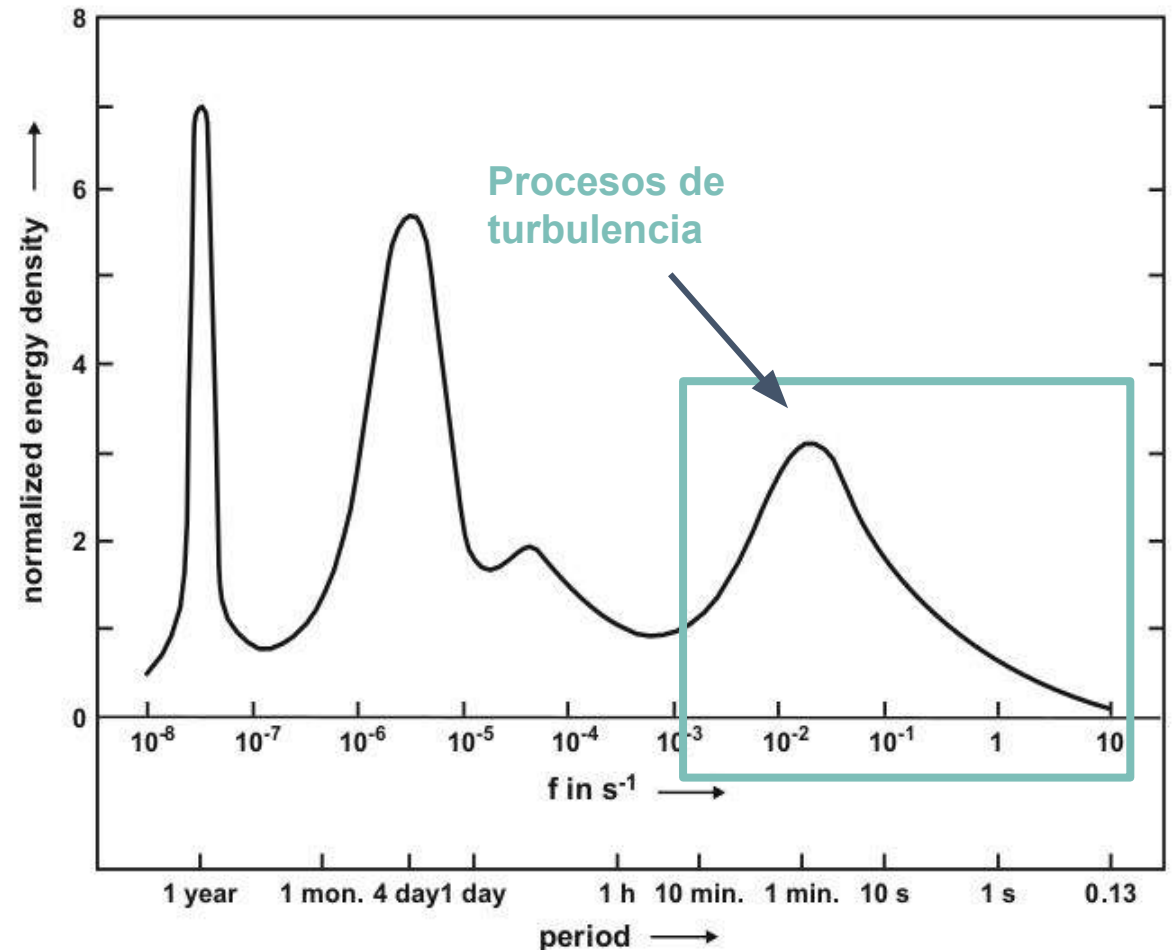


$$Q_x \propto \overline{w'x'} = \frac{1}{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} [(w_k - \bar{w})(x_k - \bar{x})]$$

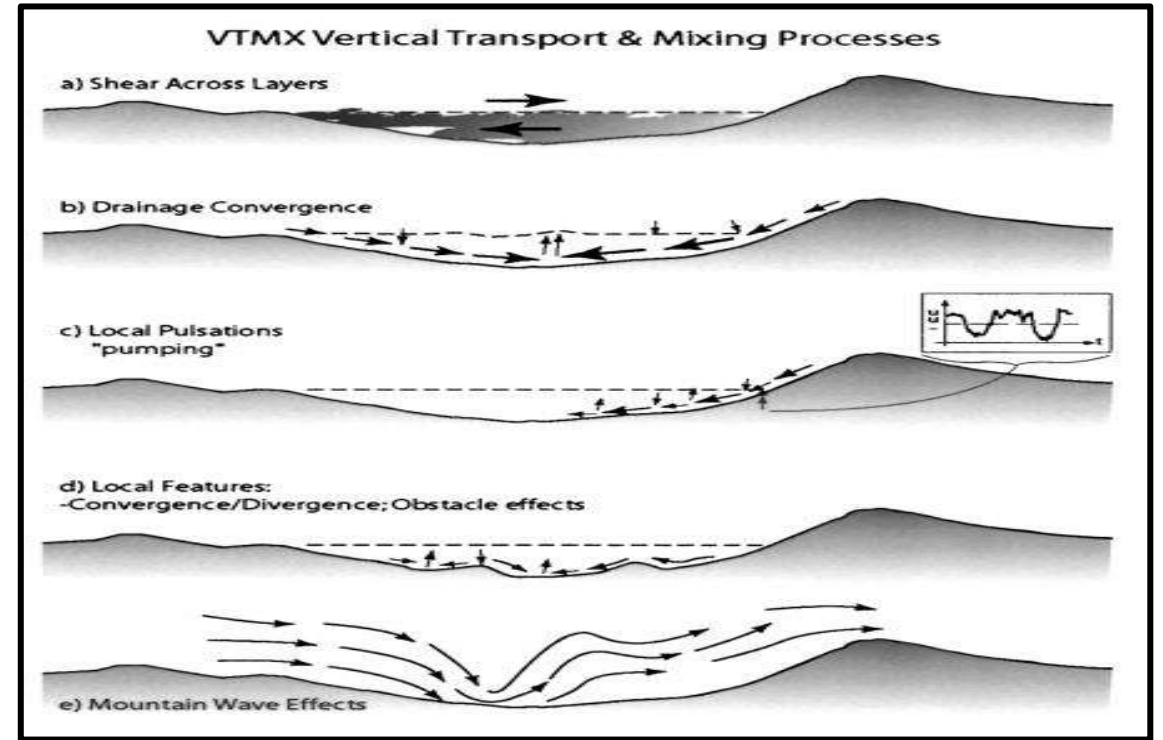
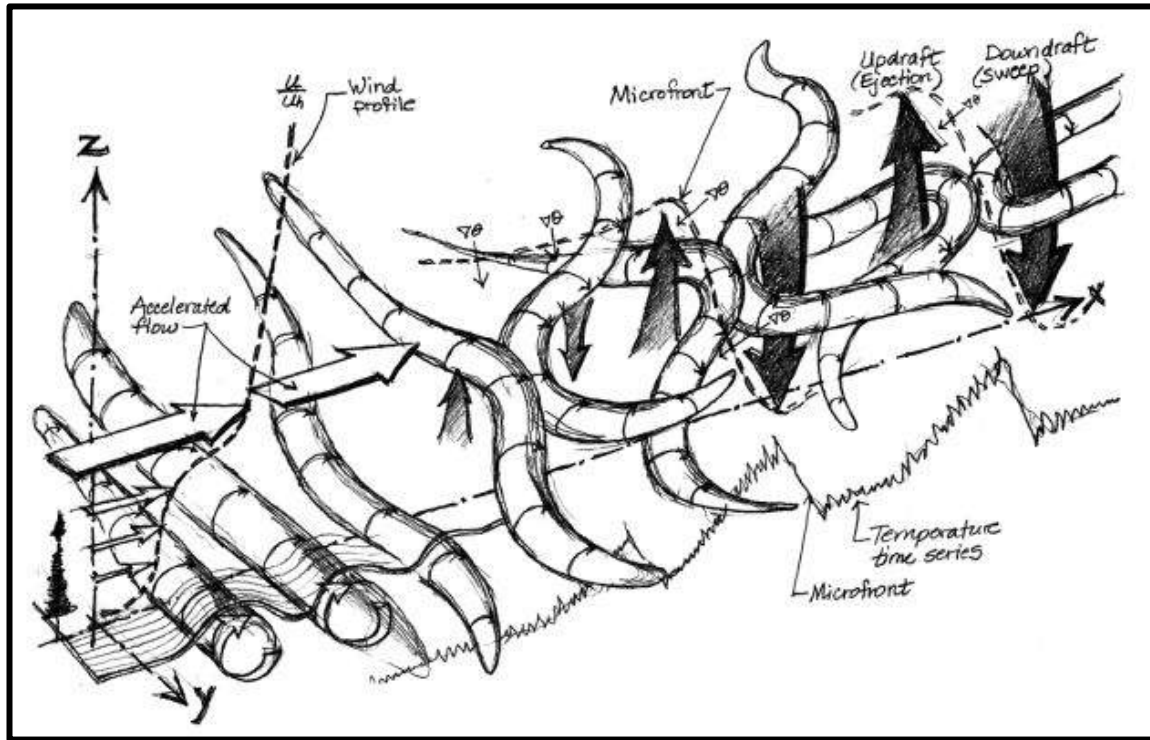


Los cálculos de los flujos son fiables si se cumplen ciertas **condiciones ideales** de superficie y de comportamiento del fluido atmosférico.

Estacionariedad (~ 30 min)
Homogeneidad

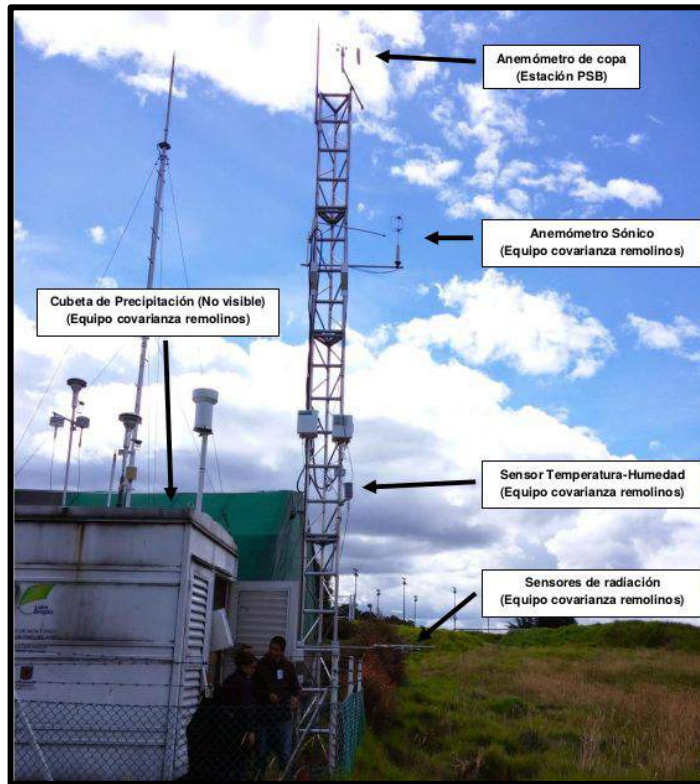


La complejidad del terreno y el régimen de vientos de baja velocidad son causas que generan **no estacionariedad** en las series de turbulencia.

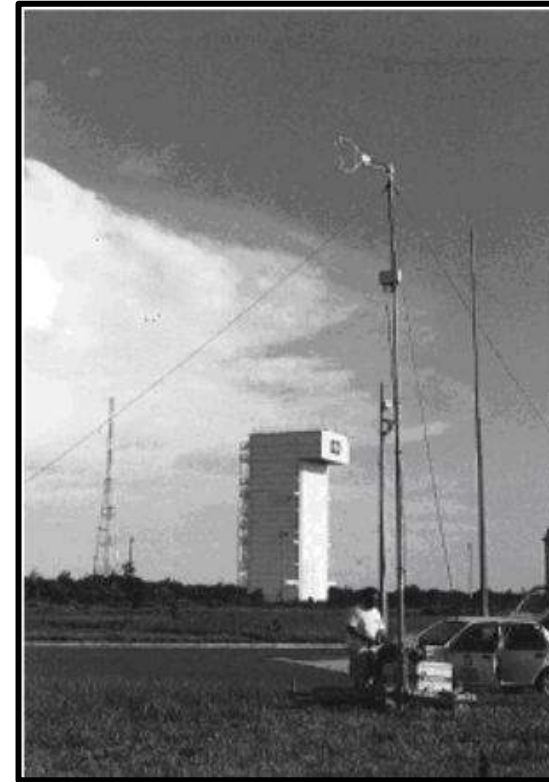


En Bogotá y Alcántara, estudios de la **estructura turbulenta** revelan que series estacionarias de 30 minutos no son plausibles

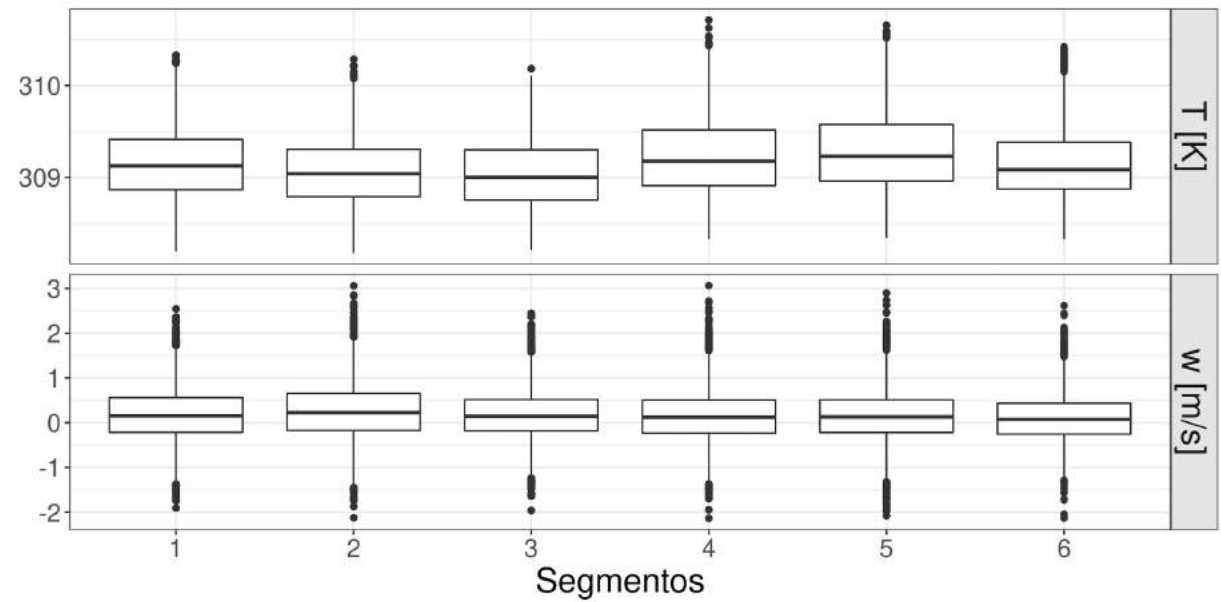
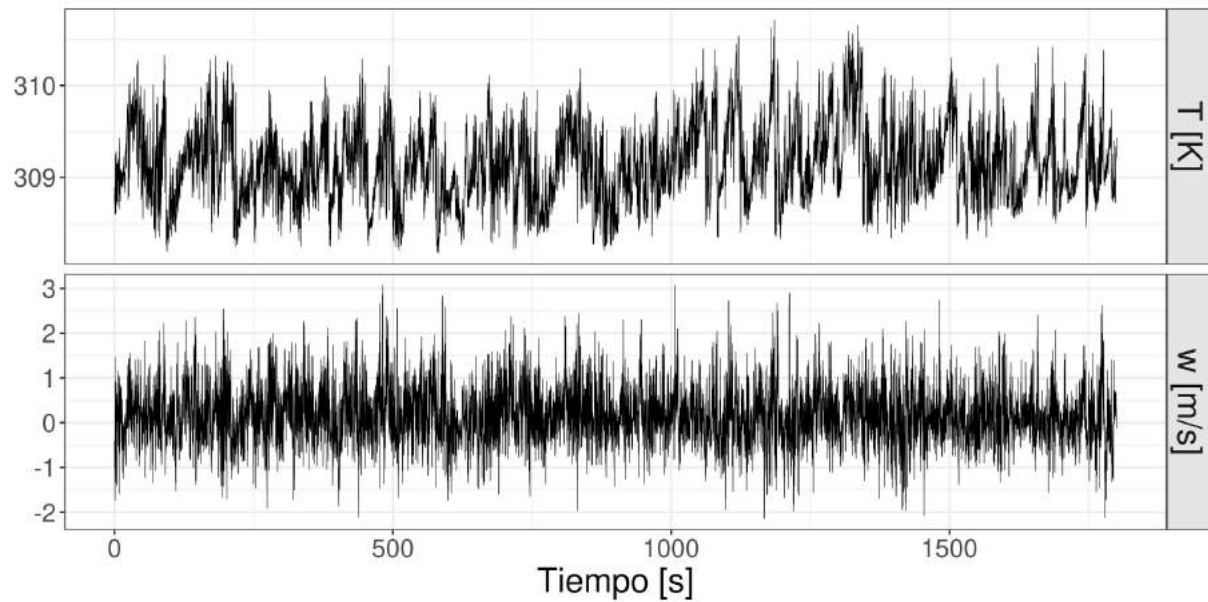
Ortiz et al., 2019



Magnago et al., 2010

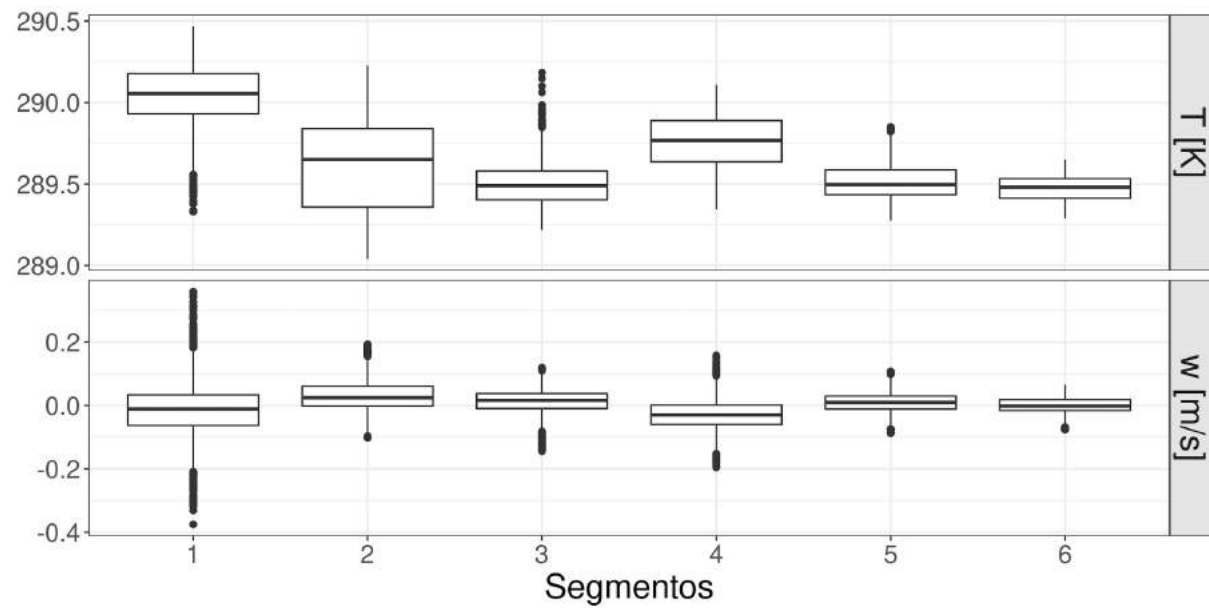
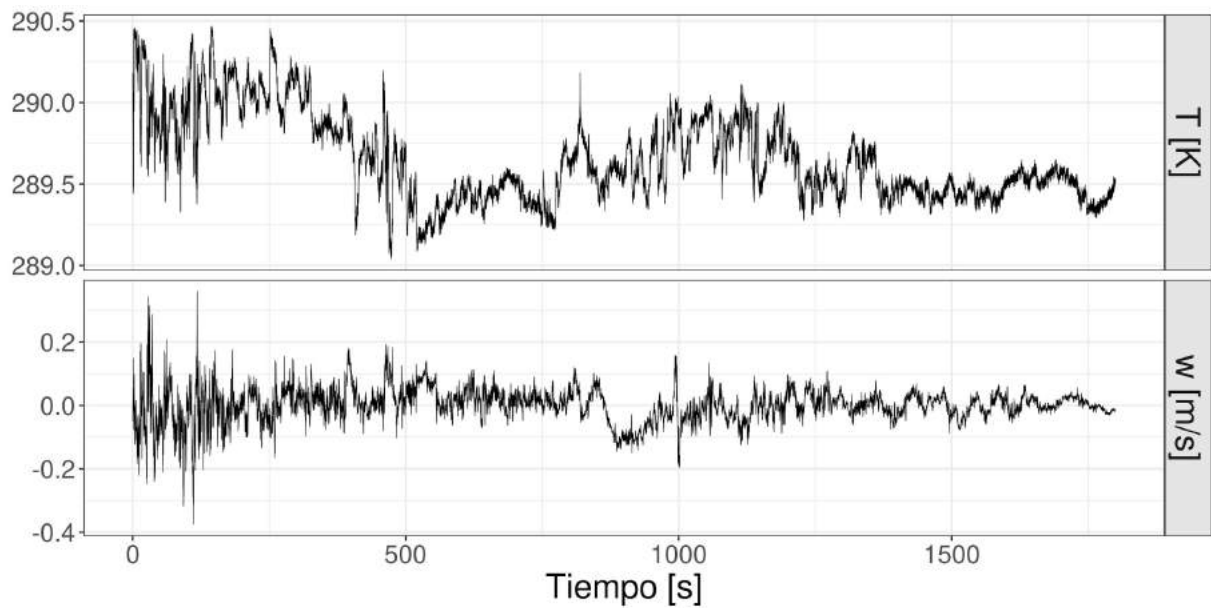


Caso estacionario (FW \sim 3 %).
Orinoquía, 11:30.



Caso no estacionario (FW \sim **120 %**).

Bogotá, 20:00.



Para la descripción adecuada de las series de tiempo de turbulencia bajo condiciones de no estacionariedad, proponemos el modelo de **estacionariedad local Wavelet** (mvLSW)

$$\mathbf{X}'_{t,T} = \sum_{j=1}^{\infty} \sum_k \mathbf{V}_j(k/T) \psi_{j,t-k} \mathbf{Z}_{j,k}$$

Espectro

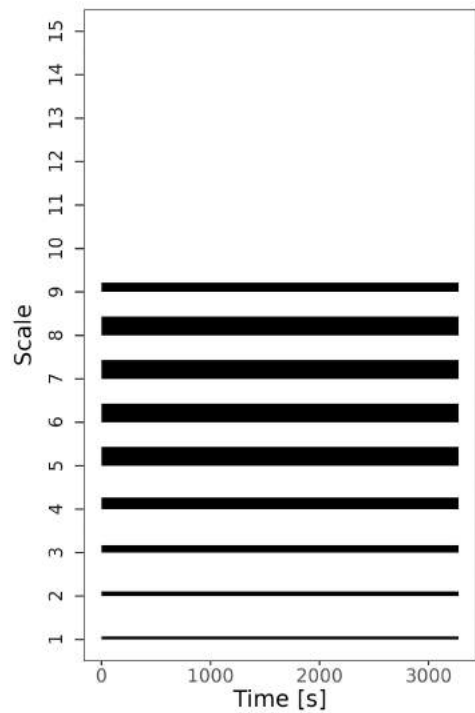
$$\mathbf{S}_j(u) = \mathbf{V}_j(u) \mathbf{V}'_j(u)$$

Covarianza

$$c^{(p,q)}(u) = \sum_{j=1}^{\infty} S_j^{(p,q)}(u)$$

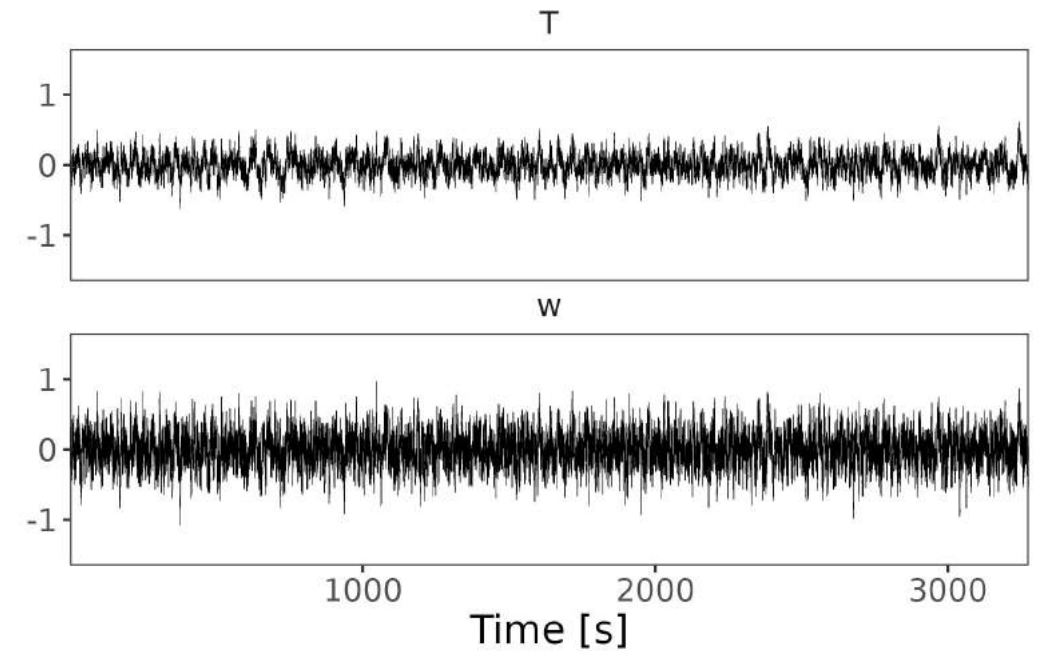
El modelo mvLSW permite **simular** series de tiempo con las características espectrales de la turbulencia

Microescala



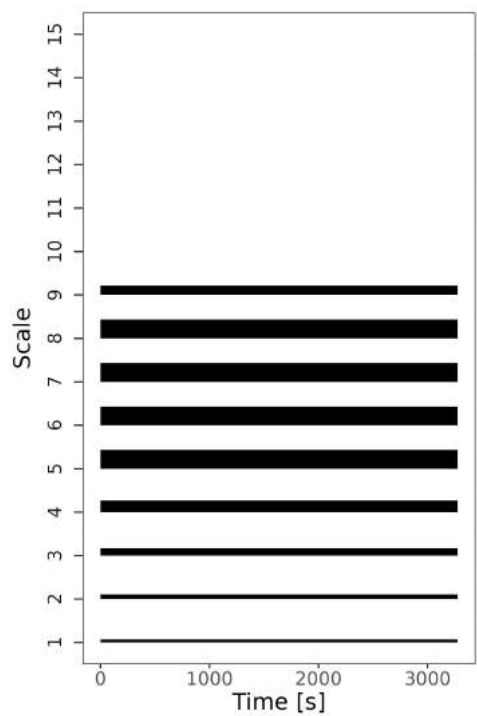
=

Caso estacionario (FW ~ 0 %)



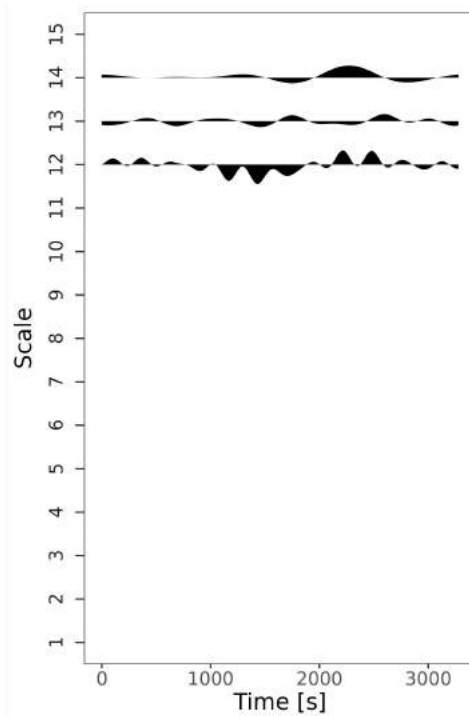
El modelo mvLSW permite **simular** series de tiempo con las características espectrales de la turbulencia

Microescala



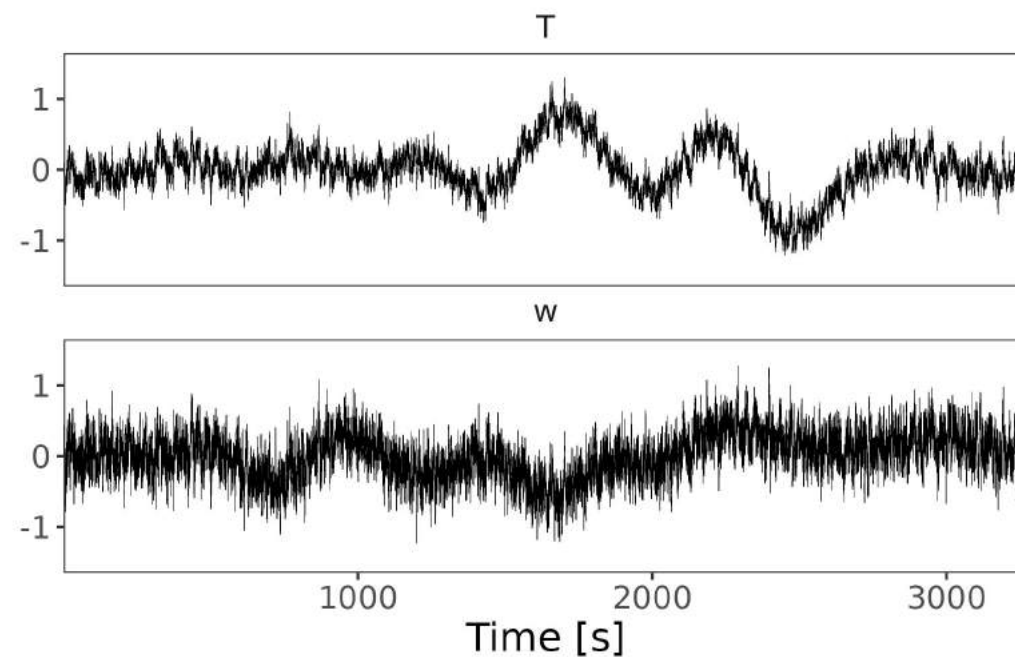
+

Mesoescala

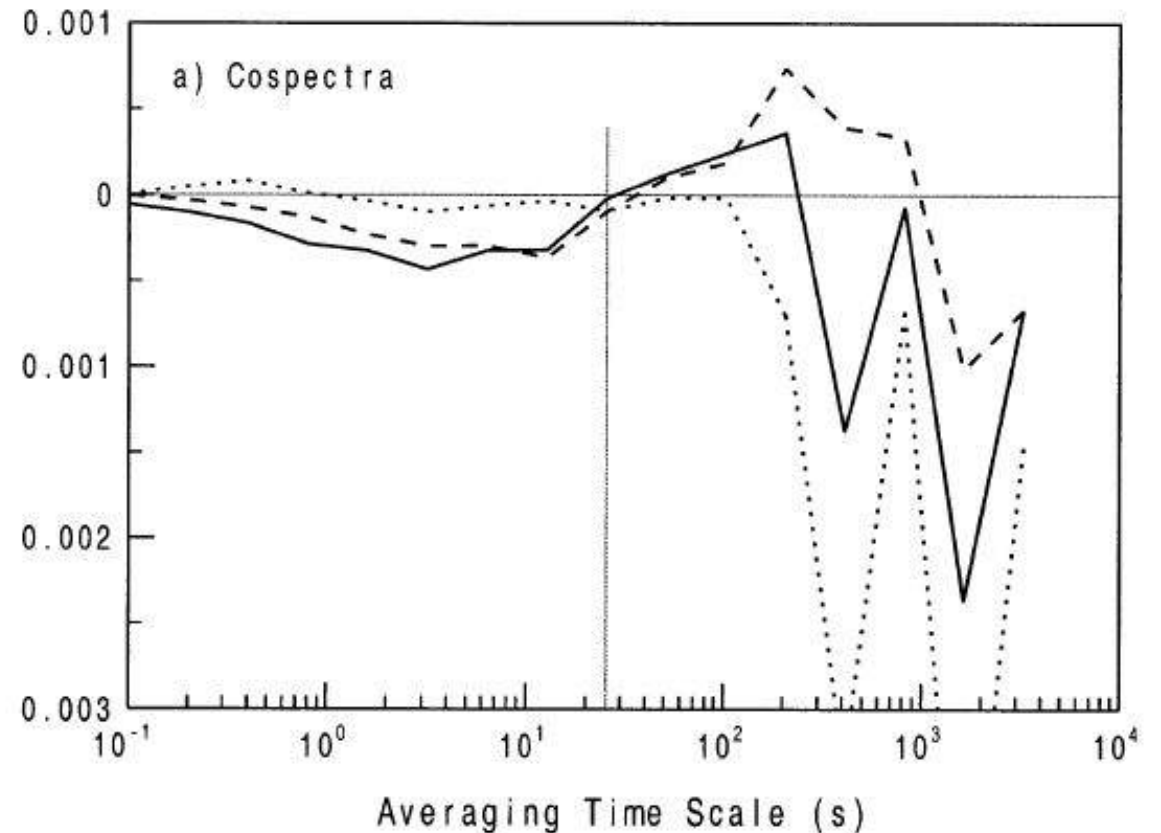
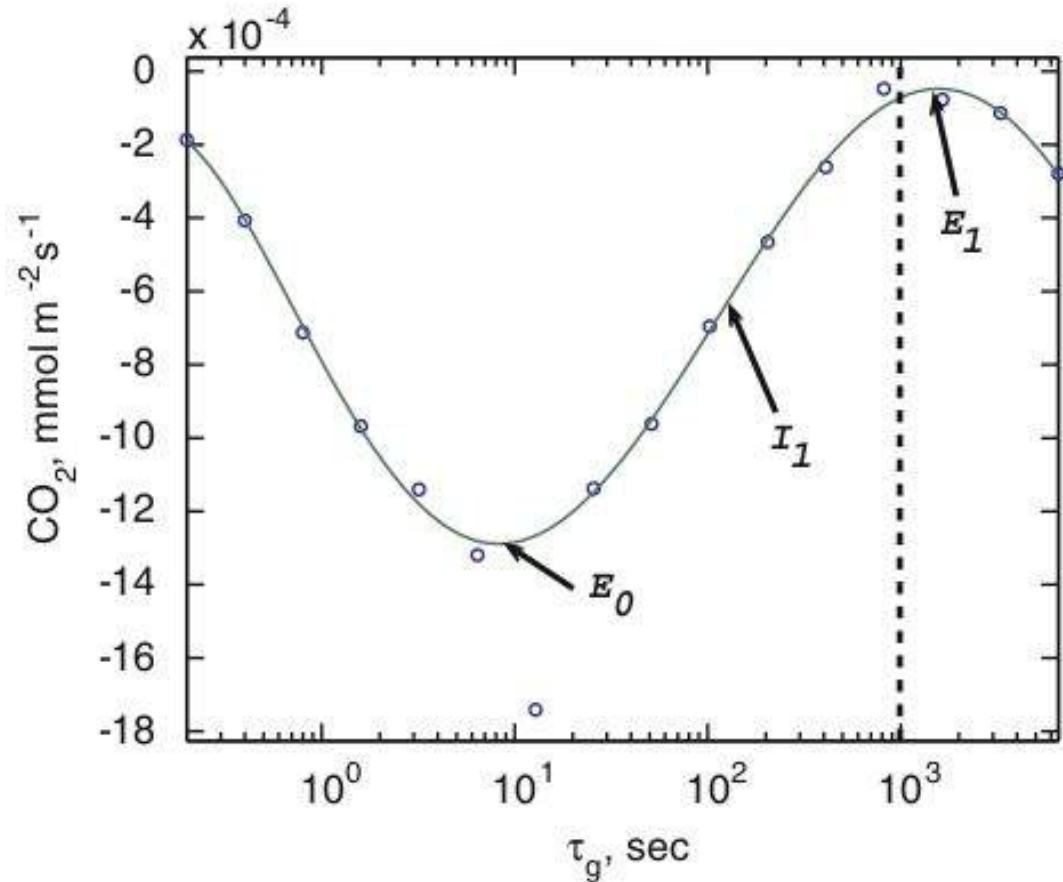


=

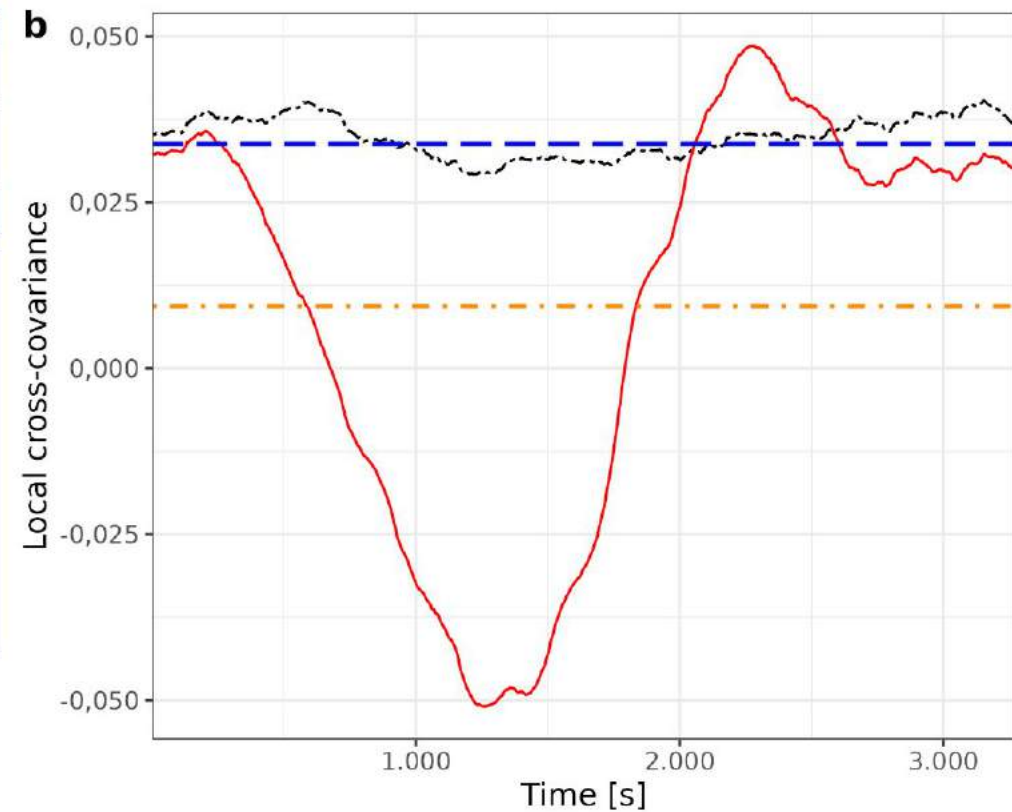
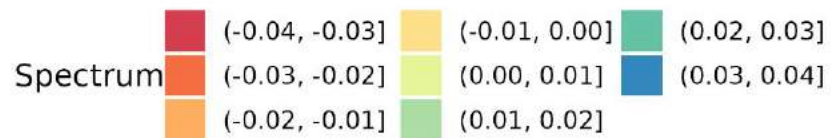
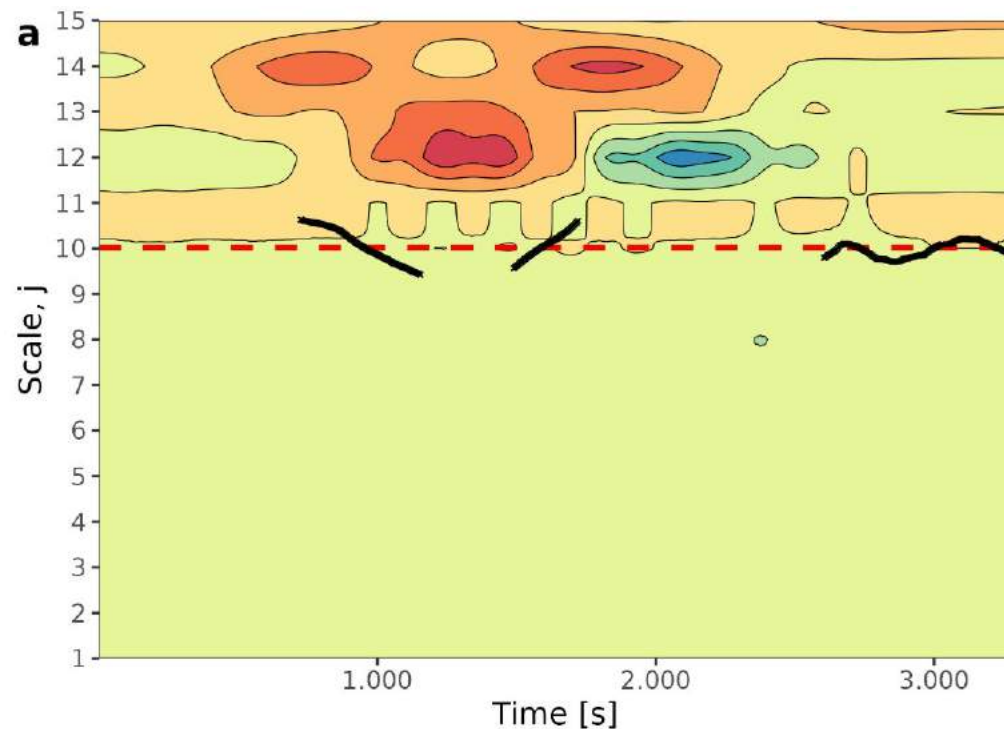
Caso no estacionario (FW ~ 140 %)



Para **desacoplar** las contribuciones de microescala con respecto a las de mesoescala, es necesario encontrar la brecha espectral

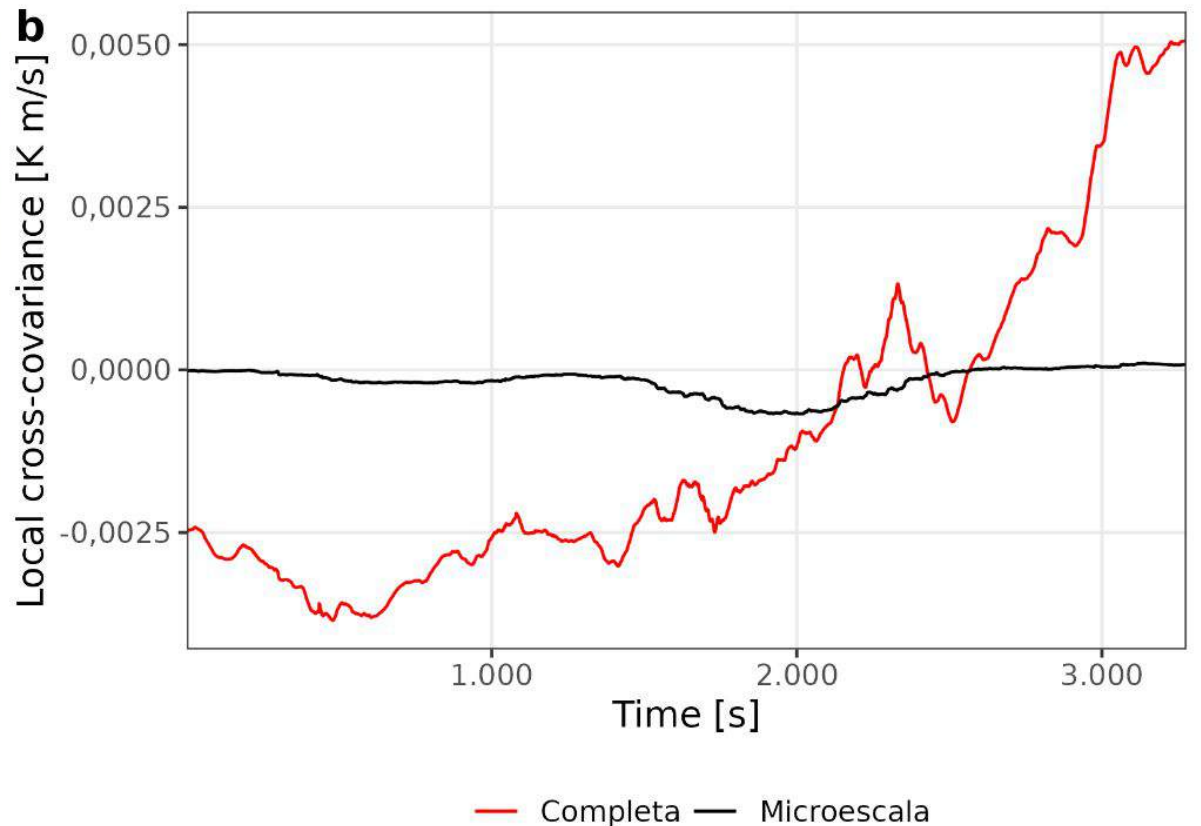
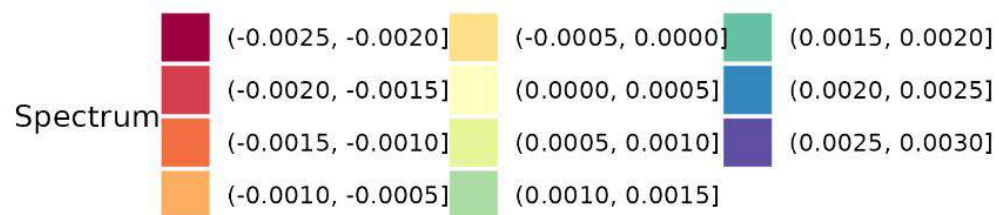
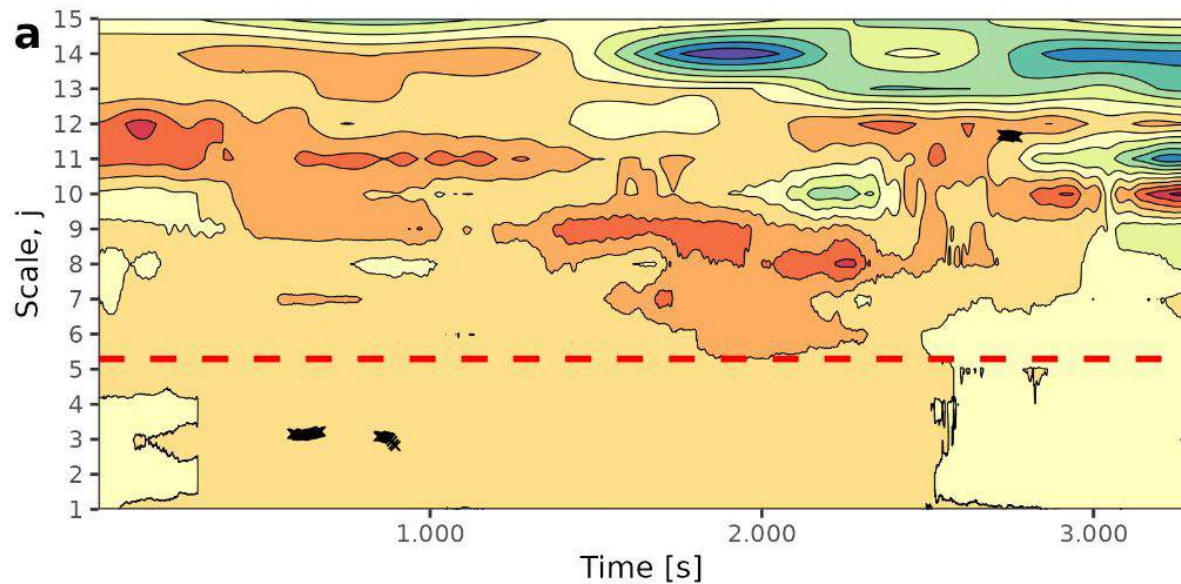


Simulación: La **detección** asertiva de la brecha espectral permite reconstruir el flujo turbulento considerando solo procesos de microescala.



— Completa — EC — Microescala — Teórico

Caso real: Para la serie de Bogotá vemos que no es efectiva la detección de la brecha espectral



Conclusiones

- 1** El modelo mvLSW permite la simulación de series de tiempo con características espectrales de la turbulencia atmosférica.
- 2** En el caso de la existencia de una brecha espectral definida es posible desacoplar la contribución de microescala y mesoescala.
- 3** Es necesario el desarrollo de criterios que permita separar la contribución de microescala en condiciones donde no sea posible definir la brecha espectral.

Referencias

Nason G.P., Von Sachs R., Kroisandt G. (2000). Wavelet processes and adaptive estimation of the evolutionary wavelet spectrum. *Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology* 62(2):271–292.

Keenan, T. F., & Williams, C. A. (2018). The Terrestrial Carbon Sink. *Annual Review of Environment and Resources*, 43(1), 219–243.

Climate models. MIT Climate Portal. (n.d.). Retrieved March 22, 2023, from <https://climate.mit.edu/explainers/climate-models>

Van, D. M. (1982). *An album of fluid motion*. Stanford, Calif: Parabolic Press.

Stull, R.B. (1988) *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston and London,

Chaudhari, Ashvinkumar. (2014). *Large-eddy simulation of wind flows over complex terrains for wind energy applications*.

Monteith, J. L., & Unsworth, M. H. (2013). *Principles of environmental physics: Plants, animals, and the atmosphere* (4th ed). Elsevier/Academic Press.

Starkenburg, D., Fochesatto, G. J., Prakash, A., Cristóbal, J., Gens, R., & Kane, D. L. (2013). The role of coherent flow structures in the sensible heat fluxes of an Alaskan boreal forest. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(15), 8140–8155.

Banta, R. M., Darby, L. S., Fast, J. D., Pinto, J. O., Whiteman, C. D., Shaw, W. J., & Orr, B. W. (2004). Nocturnal Low-Level Jet in a Mountain Basin Complex. Part I: Evolution and Effects on Local Flows. *Journal of Applied Meteorology*, 43(10), 1348–1365.

Ortiz, E. Y., Jimenez, R., Fochesatto, G. J., & Morales-Rincon, L. A. (2019). Caracterización de la turbulencia atmosférica en una gran zona verde de una megaciudad andina tropical. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 43(166), 133.

Magnago, R., Fisch, G., & Moraes, O. (2010). Análise espectral do vento no Centro de Lançamento de Alcântara (CLA). *Revista Brasileira de Meteorologia*, 25(2), 260–269.

Voronovich, V., & Kiely, G. (2007). On the gap in the spectra of surface-layer atmospheric turbulence. *Boundary-Layer Meteorology*, 122(1), 67–83. <https://doi.org/10.1007/s10546-006-9108-y>