

EFICIENCIA DE LOS TRANSPORTES TURBULENTOS EN UNA PASTURA DEL BIOMA PAMPA

Lucia Curto^{1,2}, Michel Stefanello³, Debora Roberti³, María I. Gassmann^{1,2}

lculto@at.fcen.uba.ar

¹Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (FCEyN, UBA)

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

³Universidad Federal de Santa Maria (UFSM), Departamento de Física

Palabras clave: capa límite atmosférica, estabilidad atmosférica, flujos turbulentos.

1) INTRODUCCIÓN

En la Capa Límite Atmosférica (CLA) se dan los principales intercambios turbulentos entre la atmósfera y la superficie, en especial en la Capa de Superficie, su porción inferior. Los intercambios turbulentos están determinados en gran medida por las características de la superficie que puede ser, por ejemplo, una superficie vegetal. Esa turbulencia se organiza en estructuras tipo torbellinos o eddies denominadas “estructuras coherentes” (CS, por sus siglas en inglés), de manera que los transportes no son azarosos. A través de sus movimientos verticales asociados, ellas logran aportar eficientemente cantidad de movimiento y escalares, como pueden ser temperatura, humedad y CO₂ (Li y Bou-Zeid, 2011).

Otro factor determinante en los intercambios turbulentos es la estabilidad atmosférica. La condición de estabilidad en la CLA moldea el tipo de CS que se desarrolla. En condiciones más bien neutrales se desarrollan las CS de tipo “hairpin vortices”, de mayor extensión horizontal que vertical (Curto et al., 2022). En condiciones más inestables se desarrollan las “plumas térmicas”, y en condiciones dominadas por la estabilidad la turbulencia se ve inhibida, y no hay organización de las CS (Zeitune, 2024). De esta manera, en condiciones neutrales se dan transportes turbulentos en conjunto, en condiciones estables la eficiencia de dichos transportes es muy baja, y en condiciones estables se vuelven más efectivos los transportes de propiedades escalares.

El flujo de temperatura y humedad afecta al estado de la vegetación. A su vez, el CO₂ y la humedad son gases de efecto invernadero. En el sur de Brasil, así como en la región central de Argentina se desarrolla el bioma pampa, con un sector agrícola-ganadero muy productivo, y que es responsable de gran parte de las emisiones de CO₂ (Hiraishi et al., 2014). Resulta entonces relevante estudiar el rol de los cultivos como fuente o sumidero de distintas propiedades, y el transporte turbulento en la CLA, especialmente en zonas rurales productivas.

En este trabajo se estudia la eficiencia de los transportes turbulentos de cantidad de movimiento ($u'w'$), temperatura ($w'T'$), humedad ($w'q'$) y dióxido de carbono ($w'c'$) para distintas condiciones de estabilidad. Para ello se utilizan mediciones micrometeorológicas realizadas sobre una pastura en el bioma pampa, en el sur de Brasil, en distintos momentos del año.

2) METODOLOGÍA

Se utilizaron datos de flujo turbulento, con su respectivo control de calidad (Curto, 2025). Los datos fueron obtenidos con una torre micrometeorológica emplazada en la Universidad Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil (29° 43' 27.502" S; 53° 45' 36.097" O). El sensor utilizado fue un anemómetro sónico (IRGASON-Campbell Scientific), emplazado a 3 m de altura, tomando datos con una frecuencia de 10 Hz (Roberti et al., 2012). Los flujos turbulentos fueron calculados en promedios de media hora, y luego se calcularon las eficiencias de los transportes turbulentos, obtenidas como: $r_{wx} = \overline{w'x'}/(\sigma_w \sigma_x)$, siendo $\overline{w'x'}$ el flujo turbulento de una variable x , y σ_w y σ_x los desvíos estándar de las variables velocidad vertical y la variable x . La eficiencia entonces es de los flujos turbulentos de cantidad de movimiento ($\overline{u'w'}$) temperatura ($\overline{w'T'}$), humedad ($\overline{w'q'}$) y CO₂ ($\overline{w'c'}$). Los valores negativos de los flujos representan sumideros para la atmósfera, mientras que aquellos con valores positivos representan fuentes. Se consideraron los datos de los meses de enero y julio de 2022, para estudiar las diferencias entre un verano y un invierno.

Los flujos se estudiaron por separado según la estabilidad de la atmósfera, determinada por el parámetro de estabilidad dado por la Longitud de Monin-Obukhov (z/L). La estabilidad se clasificó en condiciones fuertemente inestable ($z/L \leq -0.5$; FI), inestable ($-0.5 < z/L \leq -0.005$; I), neutral ($-0.005 < z/L \leq 0.005$; N), estable ($0.5 < z/L \leq 0.5$; E) y fuertemente estable ($0.5 < z/L$; FE) (Curto et al., 2022).

3) RESULTADOS

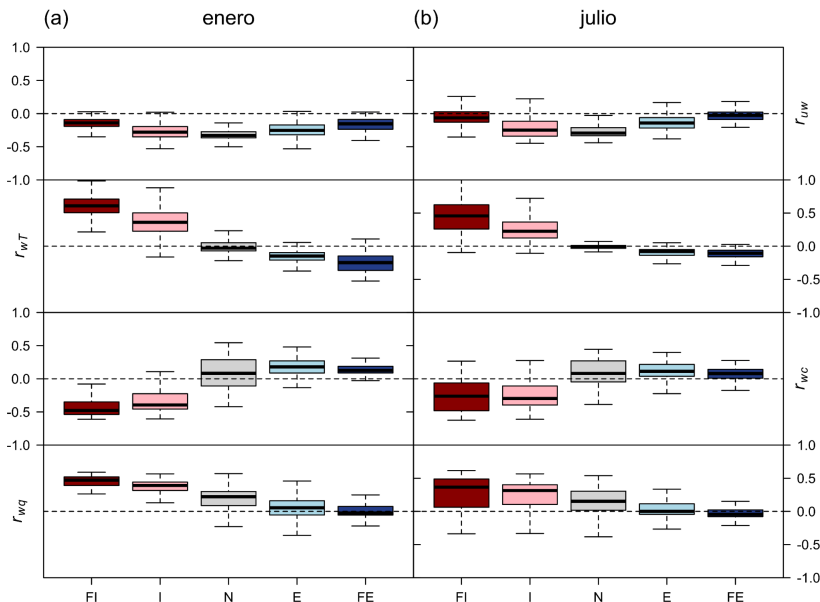


Figura 1: Eficiencia de los transportes turbulentos de cantidad de movimiento (r_{wv}), temperatura (r_{wT}), humedad (r_{wq}) y CO₂ (r_{wc}), para los meses de enero (a) y julio (b) de 2022, según las distintas condiciones de estabilidad: fuertemente inestable (FI), inestable (I), neutral (N), estable (E) y fuertemente estable (FE).

La eficiencia de transporte de cantidad de movimiento es negativa debido a que la superficie actúa como sumidero (Figura 1 a y b). La eficiencia de temperatura tiene un cambio de signo según la estabilidad, asociado a las condiciones FI e I, que se dan principalmente de día (positivas), y E y FE, de noche (negativas). La eficiencia de transporte de CO₂ es contraria al

comportamiento de la temperatura, debido a que de día las plantas fotosintetizan, y la superficie es sumidero de CO₂. De noche la eficiencia es positiva, asociada a la respiración del ecosistema. La eficiencia de humedad es mayormente positiva, indicando que la superficie vegetal está actuando mayormente con fuente de humedad.

En condiciones N la eficiencia de transporte de cantidad de movimiento es mayor (en valor absoluto), y disminuye hacia I y E. A medida que aumenta la inestabilidad, aumenta la eficiencia del transporte turbulento de temperatura, humedad y CO₂. En condiciones N los valores son nulos. En condiciones FE la turbulencia se ve fuertemente inhibida, y los transportes son muy poco eficientes (Figura 1 a y b).

Las situaciones inestables en enero presentan mayor eficiencia de los flujos de temperatura, humedad y CO₂ en condiciones I y FI (Figura 1 a) que las de invierno (Figura 1 b). Las situaciones estables (E y FE) en invierno (Figura 1 b) presentan aún menor eficiencia que en verano (Figura 1 a) para esos flujos. Para cantidad de movimiento las diferencias entre los meses para las distintas condiciones de estabilidad no son tan notables.

4) CONCLUSIONES

La superficie moduló el flujo turbulento de las distintas propiedades actuando como fuente o sumidero. El flujo de temperatura siguió el ciclo diurno, así como el de CO₂, modulado por la fotosíntesis/respiración del ecosistema. La disponibilidad de humedad indica que la superficie vegetal está actuando mayoritariamente como fuente. La estabilidad atmosférica fue el principal modulador de las diferencias en el comportamiento y tipo de CS de la turbulencia. En condiciones más inestables predominan las “plumas térmicas”, favoreciendo la eficiencia de los transportes turbulentos de escalares, en especial en el mes más cálido. En condiciones más neutrales dominan los “hairpin vortices”, reduciendo la eficiencia de los transportes escalares, pero aumentando la de cantidad de movimiento. En condiciones estables la turbulencia se ve inhibida, no se organizan las estructuras coherentes, y los transportes son muy poco eficientes. Estas condiciones resultan más intensas en los meses de invierno.

REFERENCIAS

- Curto, L., Gassmann, M. I., Covi, M., Tonti, N. E., 2022:** Study of turbulence behavior above two different crops. *Agricultural and Forest Meteorology*, 322, 109012. DOI: 10.1016/j.agrformet.2022.109012
- Curto, L., 2025:** Turbulent quality control. DOI 10.5281/zenodo.15114312
- Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M., Troxler, T., 2014:** 2013 supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Wetlands. IPCC, Switzerland.
- Li, D., Bou-Zeid, E., 2011:** Coherent structures and the dissimilarity of turbulent transport of momentum and scalars in the unstable atmospheric surface layer. *Boundary-Layer Meteorology*, 140, 2, 243-262. DOI: 10.1007/s10546-011-9613-5
- Roberti, D.R., Acevedo, O.C., Moraes, O.L., 2012:** A Brazilian network of carbon flux stations. *Eos, Transactions American Geophysical Union*. 93, 203– 203.
- Zeitune, M. 2024.** Tesis de Licenciatura en Ciencias de la Atmósfera “Transporte de CO₂ por las estructuras coherentes de la turbulencia en un cultivo en la provincia de Buenos Aires”. Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, p.57.