

ESTIMACIÓN DE FLUJOS DE CO₂ EN EL CENTRO DE ARGENTINA: ANÁLISIS DE UNA DÉCADA CON WRF-VPRM

Rodrigo Andrés Merino^{1,2}, María Isabel Gassmann^{1,2}

rmerino@at.fcen.uba.ar. Autor/a correspondiente.

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

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

Palabras clave: Intercambio Neto de Ecosistema, Covarianzas Turbulentas, Imágenes Satelitales MODIS, Modelado Numérico de la Atmósfera

1) INTRODUCCIÓN

En un contexto global marcado por el cambio climático, comprender el ciclo del carbono atmosférico y su interacción con los ecosistemas es fundamental. La fotosíntesis de la vegetación y la respiración de los ecosistemas regulan los flujos de CO₂ entre la superficie terrestre y la atmósfera, procesos influenciados por la disponibilidad de energía y humedad (Falge y otros, 2002). En este sentido, Sudamérica desempeña un papel clave en el ciclo global del carbono, actuando como un importante sumidero de CO₂. Sin embargo, la expansión agrícola y la deforestación han modificado significativamente estos ecosistemas, afectando la dinámica del carbono en la región.

La cuantificación de los intercambios de carbono suele realizarse mediante torres de covarianzas turbulentas, pero la escasez de estos sitios en el hemisferio sur, especialmente en Sudamérica, limita la representatividad de los datos (Pastorello y otros, 2020). Alternativas como imágenes satelitales y modelos bioclimáticos dependen en gran medida de calibraciones basadas en datos del hemisferio norte, lo que introduce incertidumbre en la representación de los ecosistemas sudamericanos (Byrne y otros, 2022).

En este contexto, el modelo VPRM (Vegetation Photosynthesis and Respiration Model) ofrece una solución al integrar datos satelitales con información meteorológica para estimar el intercambio neto de CO₂ (Net Ecosystem Exchange o NEE) (Mahadevan y otros, 2007). Su acoplamiento con el modelo regional WRF ha permitido mejorar la representación de los flujos de carbono a escala regional. En este trabajo se utiliza WRF-VPRM para analizar la variabilidad diaria, mensual y anual del NEE en la región central de Argentina durante la década 2010-2019.

2) MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos de covarianzas turbulentas de cinco sitios del centro de Argentina fueron analizados para caracterizar distintos entornos agrícolas y naturales. Los sitios incluyen cultivos de soja, trigo y maíz, así como pastizales naturales y marismas saladas. Se aplicaron técnicas estándar de control de calidad y relleno de datos a las series temporales de NEE. Además, se utilizaron imágenes satelitales MODIS para calcular índices como el EVI2 y el LSWI, los cuales permiten monitorear la cobertura vegetal y la disponibilidad de agua. Estos datos se utilizaron para la calibración del modelo VPRM, que estima los intercambios de carbono entre la vegetación y la atmósfera mediante parámetros ajustados para los ecosistemas locales.

Para evaluar estos flujos a escala regional, se implementó el modelo WRF-VPRM con una resolución espacial de 8 km x 8 km y condiciones iniciales del reanálisis ERA5. Se realizaron simulaciones diarias entre 2010 y 2019, incorporando información de vegetación del conjunto de datos SYNMAP. Los resultados permitieron obtener estimaciones horarias de NEE, producción primaria bruta (GPP) y respiración de ecosistema (Reco), las cuales se integraron para analizar la variabilidad mensual y anual de los intercambios de CO₂ en la región de estudio.

3) RESULTADOS

El modelo calibrado localmente fue utilizado para estimar el NEE en dos estaciones (CC-Ag y CC-G). En general, VPRM representa bien la variabilidad mensual, aunque muestra discrepancias significativas en meses de primavera, donde falla en captar la absorción de CO₂ por cultivos de invierno (Figura 1). En pastizales, el modelo tiende a sobreestimar NEE en invierno, simulando un ecosistema emisor en lugar de un sumidero.

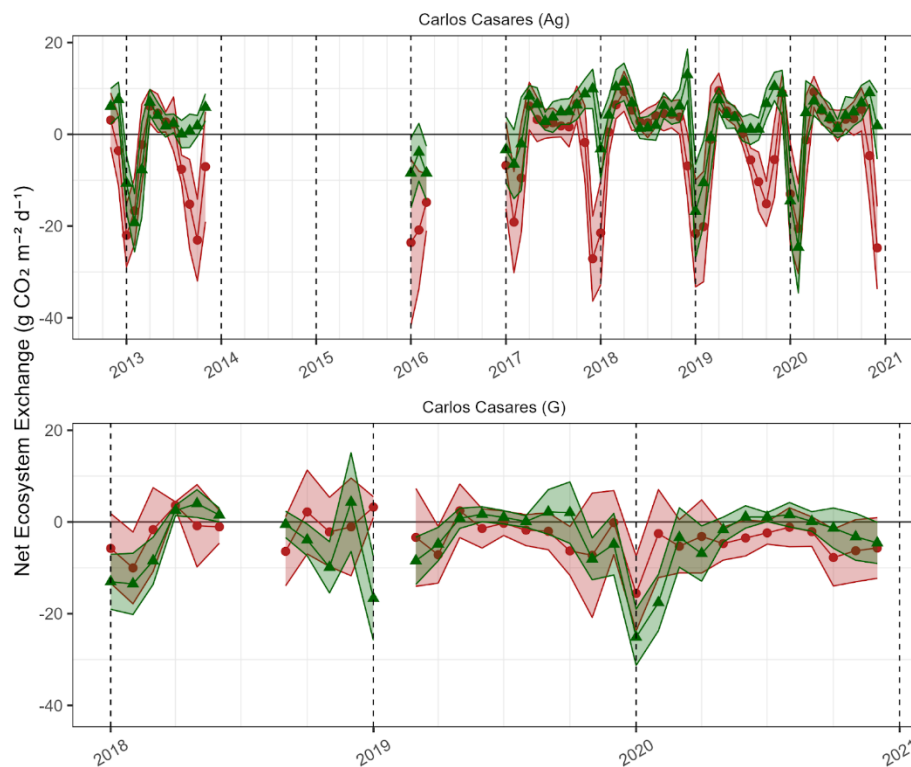


Figura 1 - Promedio mensual del NEE observado (puntos rojos) y del NEE modelado por VPRM (triángulos verdes), junto con sus desviaciones estándar para las estaciones CC-Ag y CC-G.

Durante el período 2010-2019, las simulaciones del modelo WRF-VPRM permitieron estimar el NEE en distintas regiones de Argentina. Las áreas del centro del país y cercanas a la cordillera de los Andes presentan valores positivos de NEE, indicando emisión neta de CO₂ a la atmósfera (Figura 2). Por el contrario, las zonas del este, como Buenos Aires, Uruguay, Misiones y las Yungas, muestran valores negativos, lo que representa una asimilación de CO₂. En promedio, el área de estudio actuó como un sumidero neto de carbono, con un NEE diario medio de $-0.5 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Las mayores tasas de GPP se registraron en las regiones selváticas, favorecidas por la humedad disponible durante todo el año. En contraste, Reco fue más intenso en las regiones del centro-norte, caracterizadas por temperaturas más altas. Existe un marcado

gradiente este-oeste en el comportamiento del CO₂, vinculado principalmente a la disponibilidad de agua y a la temperatura. Estos factores condicionan tanto la absorción como la emisión de carbono en los distintos ecosistemas del país.

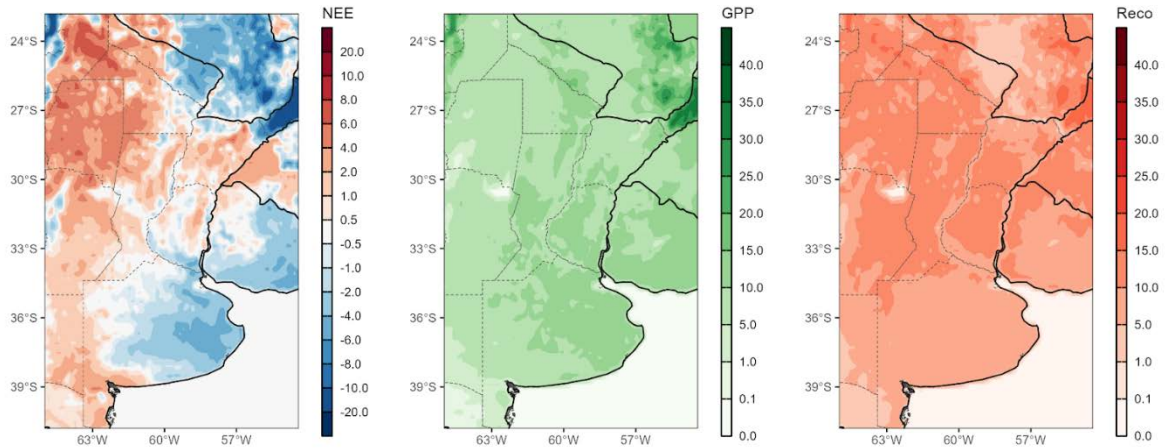


Figura 2 - Promedio diario de NEE, GPP y Reco ($g\ CO_2\ m^{-2}\ d^{-1}$) para el período 2010-2019.

4) DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los modelos meteorológicos regionales, como WRF-VPRM, han mejorado la evaluación del balance de CO₂ al ofrecer mayor resolución en la representación de procesos atmosféricos. Sin embargo, su calibración se basa en datos limitados, lo que genera incertidumbre en la validación, especialmente por la falta de torres de flujo en Sudamérica. Aun con estas limitaciones, WRF-VPRM ha representado con precisión la variabilidad del NEE en sitios agrícolas, coincidiendo con estudios que identifican el este de Argentina como un sumidero de CO₂ y el oeste como una fuente. La variabilidad del NEE está influenciada por la temperatura y la humedad del suelo, factores clave en la regulación del GPP y la respiración de ecosistema.

El cambio climático proyecta aumentos de temperatura y modificaciones en las precipitaciones, lo que podría alterar la dinámica del CO₂ en la región. Dado que los modelos globales ofrecen resultados divergentes, es esencial mejorar la representación de la biosfera y ampliar estudios basados en observaciones locales.

REFERENCIAS

- Byrne, B., Baker, D. F., Basu, S., Bertolacci, M., Bowman, K. W., Carroll, D., ... y Zeng, N., 2022.** National CO₂ budgets (2015–2020) inferred from atmospheric CO₂ observations in support of the global stocktake. *Earth System Science Data Discussions*, 2022, 1-59.
- Falge, E., Baldocchi, D., Tenhunen, J., Aubinet, M., Bakwin, P., Berbigier, P., ... y Wofsy, S., 2002:** Seasonality of ecosystem respiration and gross primary production as derived from FLUXNET measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, 113(1-4), 53-74.
- Mahadevan, P., Wofsy, S. C., Matross, D. M., Xiao, X., Dunn, A. L., Lin, J. C., ... y Gottlieb, E. W., 2008.** A satellite-based biosphere parameterization for net ecosystem CO₂ exchange: Vegetation Photosynthesis and Respiration Model (VPRM). *Global Biogeochemical Cycles*, 22(2).
- Pastorello, G., Trotta, C., Canfora, E., Chu, H., Christianson, D., Cheah, Y. W., ... y Law, B., 2020.** The FLUXNET2015 dataset and the ONEFlux processing pipeline for eddy covariance data. *Scientific data*, 7(1), 225.