

# EVALUACIÓN DE UNA VERSIÓN ITERATIVA DEL FILTRO DE KALMAN POR ENSAMBLES EN UN CONTEXTO IDEALIZADO

Leonel Cabello<sup>1</sup>, Jorge Gacitúa Gutiérrez<sup>1,2</sup>, Juan Ruiz<sup>1,2,3</sup>  
[leonelcabello07@hotmail.com](mailto:leonelcabello07@hotmail.com)

<sup>1</sup> Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos. Buenos Aires, Argentina

<sup>2</sup> CONICET – Universidad de Buenos Aires. Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA). Buenos Aires, Argentina

<sup>3</sup> CNRS – IRD – CONICET – UBA. Instituto Franco-Argentino para el Estudio del Clima y sus Impactos (IRL 3351 IFAECI). Buenos Aires, Argentina.

**Palabras clave:** Filtro de Kalman por ensambles, no linealidad, asimilación de datos de radar

## 1) INTRODUCCIÓN

Los métodos de asimilación de datos (DA) deben reconciliar los pronósticos del modelo con las observaciones, a menudo bajo condiciones donde los supuestos de linealidad y distribución gaussiana no se cumplen. Esto es particularmente relevante para la DA en escala convectiva, donde variables como la reflectividad de radar son fuertemente no lineales y espacialmente discontinuas, o la relación con el modelo es no lineal. LETKF, un esquema de asimilación de datos por ensambles ampliamente utilizado, puede verse afectado por estas no linealidades (Carrasi et al., 2018).

En este trabajo se implementa una versión del LETKF (LETKF-T, Kurosawa y Poterjoy 2021) en un sistema unidimensional con física simplificada, lo que permite un análisis detallado de su comportamiento bajo diferentes configuraciones. Esto sirve como base para comprender mejor el desempeño del método antes de aplicarlo en entornos más complejos. A partir de este análisis se busca construir un marco experimental simplificado basado en simulaciones realizadas con el modelo de mesoescala WRF para investigar el comportamiento de los esquemas LETKF y LETKF-T bajo operadores de observación (H) altamente no lineales. Nuestro objetivo es evaluar la técnica en escenarios relevantes para la asimilación de datos de radar, sentando las bases para mejoras que puedan ser implementadas en los sistemas de pronóstico operativos.

## 2) METODOLOGÍA

En una primera instancia, se utiliza un sistema unidimensional sin evolución temporal que representa la concentración de condensado, siendo la misma observada indirectamente a través de una cantidad que asemeja la reflectividad de radar. En este sistema se asume conocido el estado verdadero a partir del cual se generan observaciones

sinécticas con un error observacional ( $R$ ). Esta configuración permite analizar de manera controlada el desempeño del LETKF-T el cual introduce progresivamente las observaciones mediante un incremento del error observacional en cada iteración, con el objetivo de reducir el impacto negativo de la no linealidad en la estimación de las variables de estado.

Para caracterizar el desempeño del LETKF-T con respecto al LETKF en este escenario simple, se llevan adelante experimentos de asimilación bajo diferentes condiciones, variando, entre otras cosas, la distancia entre la media del ensamble y el estado verdadero del sistema, el valor del estado verdadero, el error observacional, la dispersión del ensamble, la cantidad de miembros en el ensamble y la forma en la que se distribuye la información de las observaciones en las diferentes iteraciones. Para comparar la performance de ambos filtros, para cada escenario se realizan 1000 asimilaciones, variando la realización del error aleatorio de la observación.

### 3) RESULTADOS

En el caso unidimensional, se observa una mejora en la raíz del error cuadrático medio (RMSE, por sus siglas en inglés) en el LETKF-T con respecto al LETKF (Figura 1), en particular en los escenarios donde la media del ensamble, que representaría el contenido medio de hidrometeoros, se encuentra en un rango bajo de la escala evaluada (valores entre 4 y 6 en una escala de 1 a 15), que es, en este caso, donde se produce la transición entre valores de reflectividad nulos a positivos. Esta mejora es más evidente a medida que aumenta la distancia entre el estado verdadero y la media del ensamble, ya que en estos casos la no linealidad de la relación entre el condensado y la reflectividad produce un impacto más significativo.

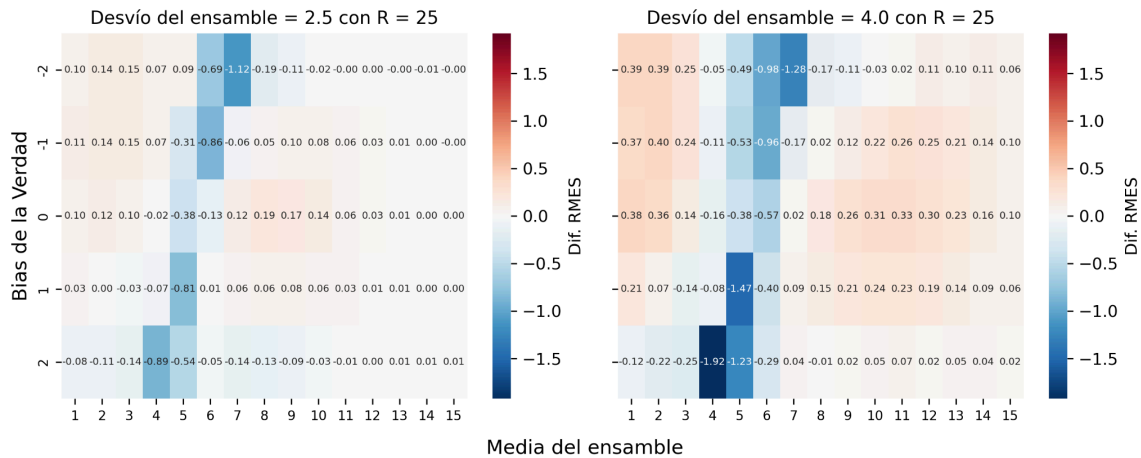


Figura 1: Diferencia entre los RMSE obtenidos con los métodos LETKF y LETKF-T. Cada panel corresponde a un valor distinto de dispersión del ensamble. Se utilizaron 20 miembros y un  $R=25$ .

La Figura 1 muestra cómo el desempeño relativo del LETKF y del LETKF-T depende de la magnitud de la dispersión del ensamble. Cuando la dispersión del ensamble es pequeña, la performance de ambas técnicas es similar. Cuando la dispersión es mayor, aparecen escenarios en donde la performance del LETKF es superior al LETKF-T (por ejemplo, cuando los valores de condensado son relativamente altos y el error del forecast es bajo).

#### **4) DISCUSIONES**

Los resultados obtenidos muestran que, si bien el LETKF-T presenta ventajas respecto al LETKF, estas no ocurren en todos los escenarios. Esto motiva hacer una exploración más profunda de las condiciones que determinan que el método iterativo, que tiene asociado un mayor costo computacional, pueda representar una ventaja, de manera tal de poder diseñar una estrategia en donde, en función de las condiciones, se decida aplicar uno u otro método. Por otro lado, los resultados son alentadores en términos de las potenciales ventajas del método iterativo para la asimilación de observaciones como las de radar y satélite.

En el congreso se mostrará el resultado de aplicar un enfoque similar utilizando el modelo WRF (Skamarock et al., 2019) configurado para un evento convectivo en el centro de Argentina, donde se observó un sistema convectivo de mesoescala. En este caso se utilizará un ensamble de simulaciones en alta resolución y uno de los miembros del ensamble será utilizado como el verdadero estado del sistema y a partir del mismo se simularán observaciones de radar, las cuales serán asimiladas con la técnica de LETKF y LETKF-T utilizando los miembros restantes. Los resultados preliminares indican que este escenario más realista permite confirmar las ventajas del método iterativo.

#### **AGRADECIMIENTOS**

Este estudio se desarrolla en el marco del Proyecto SNF SPIRIT: “UnWeather Vizard: “Visualización e Interpretación de la Incertidumbre en Pronósticos Numéricos de Alta Resolución” y en el marco del proyecto PREVENIR dentro del programa de Investigación en Ciencia y Tecnología para el Desarrollo Sostenible (SATREPS), financiado conjuntamente por la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA) y la Agencia de Ciencia y Tecnología de Japón (JST).

#### **REFERENCIAS**

- Carrassi, A., et al. (2018).** Data assimilation in the geosciences: An overview. *WIREs Climate Change*, 9(5), e535.
- Kurosawa, K., & Poterjoy, J. (2021).** Data assimilation challenges posed by nonlinear operators: A comparative study. *Monthly Weather Review*, 149, 2369–2389.
- Skamarock et al. (2019).** A Description of the Advanced Research WRF Model Version 4. NCAR TN-556+STR.