

PRONÓSTICOS HIDROLÓGICOS OPERATIVOS PARA LA GESTIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN URUGUAY

Alejandra De Vera¹, Guillermo Flieller², Ruben Chaer² y Rafael Terra¹

¹Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA), Facultad de Ingeniería (UdelaR), Uruguay

²Gerencia Técnica y Despacho Nacional de Cargas, Administración del Mercado Eléctrico (ADME), Uruguay

adevera@fing.edu.uy, gflieller@adme.com.uy, rchaer@adme.com.uy, rterra@fing.edu.uy

INTRODUCCIÓN

En vistas a la creciente incorporación de energías renovables en Uruguay (hidroeléctrica, eólica y solar) en un contexto de gran variabilidad climática, desde el año 2019 se encuentra operativo un sistema de pronósticos hidrológicos por ensambles para la simulación de los caudales de aporte a las centrales hidroeléctricas del río Negro, acoplado con la simulación del sistema eléctrico del país (De Vera, 2023). Como resultado, se obtiene un conjunto de pronósticos a catorce días de los caudales de aporte a las centrales que la Administración del Mercado Eléctrico (ADME) incorpora diariamente a la programación de mediano y corto plazo, para luego optimizar la operación del sistema y definir el despacho energético por fuente, los costos de operación y lineamientos para potenciales intercambios con los países vecinos. Los resultados y la información relevantes para la operación del sistema se publican diariamente: <https://adme.com.uy/>. Hasta la fecha ADME ha tenido una percepción favorable de los resultados obtenidos con esta herramienta.

En este trabajo se proponen diferentes desarrollos metodológicos buscando mejorar el desempeño del actual sistema de pronósticos hidrológicos operativo en ADME, contribuyendo así a una mejor gestión del sistema eléctrico del país. La cuenca de estudio es la cuenca de aporte al Río Negro, cuenca transfronteriza con Brasil, con una extensión superficial de 62.900 km² y en cuyo cauce principal se ubican tres centrales hidroeléctricas en serie.

MATERIALES Y MÉTODOS

La estrategia seguida se basa en tres enfoques: (i) una evaluación exhaustiva de los pronósticos hidrometeorológicos por ensambles; (ii) la asimilación de datos observados de caudal; (iii) mejoras en la representación de la incertidumbre asociada a los pronósticos por ensambles de precipitación.

Evaluación de los pronósticos hidrológicos

Se desarrolló una metodología para la evaluación de la calidad de los pronósticos por ensambles de precipitación y caudal (de paso diario) generados para la cuenca del Río Negro, la cual combina indicadores de desempeño y gráficos de diagnóstico de manera de abarcar diferentes aspectos de la calidad del pronóstico.

La metodología se aplicó a: (i) ensambles de precipitación a quince días del modelo GEFS (versión V12) del NCEP-NOAA (empleados como forzantes del modelo hidrológico), tomando como referencia una estimación en base a la combinación de imágenes satelitales y observaciones en superficie (De Vera et al., 2021); (ii) ensambles de los caudales de aporte a las centrales hidroeléctricas obtenidos con el modelo hidrológico GR4J forzado por los pronósticos del GEFS, en comparación con las series teóricas de aportes que surgen de un balance hídrico en los embalses.

El periodo analizado comprende noviembre de 2020 a diciembre de 2022 (777 ciclos de pronóstico).

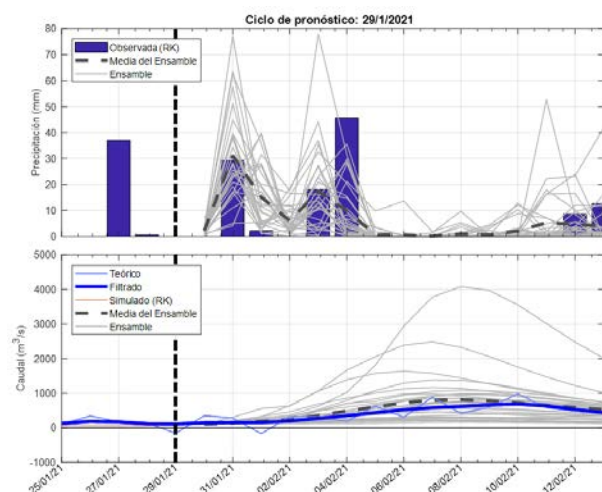


Figura 1.- Ejemplo de pronósticos de precipitación (panel superior) y caudal (panel inferior) para la cuenca del río Negro (central G. Terra).

Asimilación de datos de caudal

Se propuso una metodología para la asimilación al modelo hidrológico (GR4J) de datos observados de caudal, la cual se aleja conceptualmente de los diseños tradicionales de relajación de datos observados a sistemas de pronóstico. En el caso de estudio, la variable observada disponible no es un estado sino una salida del modelo (caudal), por lo que no puede ser ajustada directamente. El ajuste se plantea como una corrección de la precipitación antecedente (forzante que representa la mayor fuente de incertidumbre del proceso de modelación) hasta el día de inicio del pronóstico, proporcional a la amplitud del error relativo del caudal simulado.

En particular, el ajuste se implementó en tres subcuencas de aporte al embalse de G. Terra (el primero, desde aguas arriba hacia aguas abajo, de los tres embalses localizados consecutivamente sobre el Río Negro).

Aplicación de técnicas de “time-lagged ensembles”

Se propuso una técnica de bajo costo computacional basada en la combinación de “Time-Lagged Ensembles” (TLE) para mejorar el desempeño del pronóstico por ensambles de precipitación diaria del modelo GEFS en la cuenca del río Negro. En particular, se busca mejorar la representación de la incertidumbre que enfrenta el sistema en el horizonte inmediato.

Para ello, se construyeron superensambles equiprobables (sin pesos diferenciales) a partir de múltiples pronósticos de precipitación inicializados en diferentes momentos, combinando el último pronóstico disponible en cada ciclo (Lag-0) con los distintos TLE iniciados hasta tres días antes (De Vera et al., 2024).

RESULTADOS

De la evaluación de los pronósticos hidrometeorológicos por ensambles resulta que, si bien las series simuladas capturan satisfactoriamente el comportamiento de las series observadas, la dispersión inicial del ensamble es excesivamente baja en comparación con su error medio. Este comportamiento es aún más notorio en el caso de los caudales (De Vera et al., 2022).

La metodología empírica de asimilación de datos propuesta reduce significativamente el error al inicio del pronóstico (ver Figura 2), en comparación con el desempeño del modelo

hidrológico sin retroalimentación. Sin embargo, para caudales bajos (muy frecuentes en el periodo analizado), no logra corregir el marcado sesgo positivo existente en el modelo original.

La aplicación de la metodología TLE demostró una mejora en la distribución del ensamble de precipitación sin deteriorar su error, mejorando el cociente SPREAD/RMSE (en comparación con el desempeño del ensamble de la última inicialización disponible).

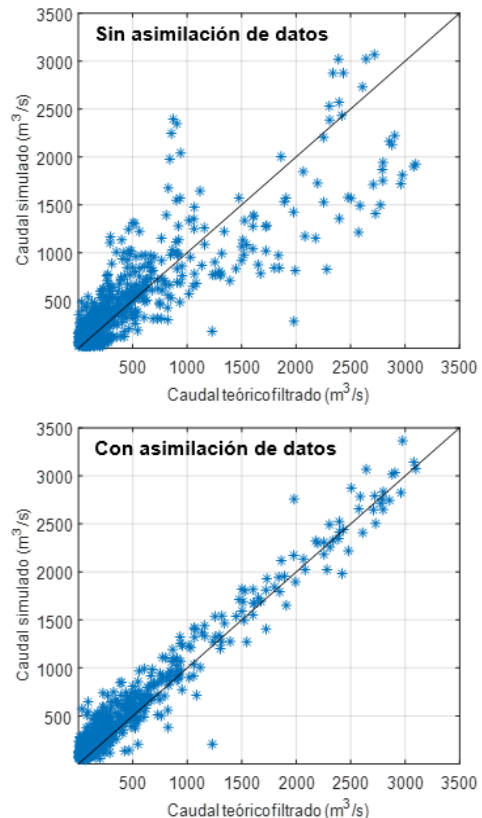


Figura 2.- Diagrama de dispersión del caudal simulado (eje y) versus el caudal observado (eje x) al inicio de cada ciclo de pronóstico para la cuenca G. Terra.

CONCLUSIONES

Las metodologías desarrolladas en este trabajo demostraron su capacidad para mejorar algún aspecto del pronóstico por ensambles de los aportes hidrológicos a las centrales del Río Negro. En todos los casos, los desarrollos propuestos son pasibles de ser incorporados fácilmente en las herramientas de simulación del sistema eléctrico de Uruguay. Si bien es de esperar que dichas mejoras se traduzcan en un agregado de “valor” al sistema de pronóstico, está aún pendiente la evaluación cuantitativa del impacto de la incorporación de los pronósticos hidrológicos en el proceso de toma de decisión del despacho energético.

REFERENCIAS

- De Vera A., Alfaro P., Terra R. (2021). Operational Implementation of Satellite-Rain Gauge Data Merging for Hydrological Modeling. *Water* 2021, 13, 533. <https://doi.org/10.3390/w13040533>
- De Vera A., Flieller G., Chaer R., Terra R. (2022). Evaluación de un sistema operativo de pronósticos hidrológicos por ensambles para la gestión del sistema eléctrico en Uruguay. *Ribagua*, 9:1, 10-24. <https://doi.org/10.1080/23863781.2023.2213843>
- De Vera A. (2023). Mejoras en el sistema de pronósticos hidrológicos por ensambles del simulador del sistema eléctrico en Uruguay. Tesis de doctorado. UdelaR, FI, Uruguay. Available in: <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/43978>
- De Vera A., Terra R. (2024). Aplicación de técnicas de “time-lagged ensembles” al pronóstico de precipitación del modelo GEFS en una cuenca hidroeléctrica. *Ribagua*, 11(2). <https://doi.org/10.1080/23863781.2025.2541575>.