



*"Modelos y Herramientas ADME" 27/10/2022*

## Mejoras en el sistema de pronósticos hidrológicos por ensambles del Simulador del Sistema Eléctrico

Presenta: **De Vera A.**, Terra R.

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, FING, UdelaR



# INTRODUCCIÓN

## Motivación

- ❖ La **energía hidráulica**, además de contribuir significativamente a la generación del país, es un **recurso almacenable**.
- ❖ La **previsión de disponibilidad de agua** en los embalses de las centrales hidroeléctricas es clave para la **planificación del Sistema Interconectado Nacional**.

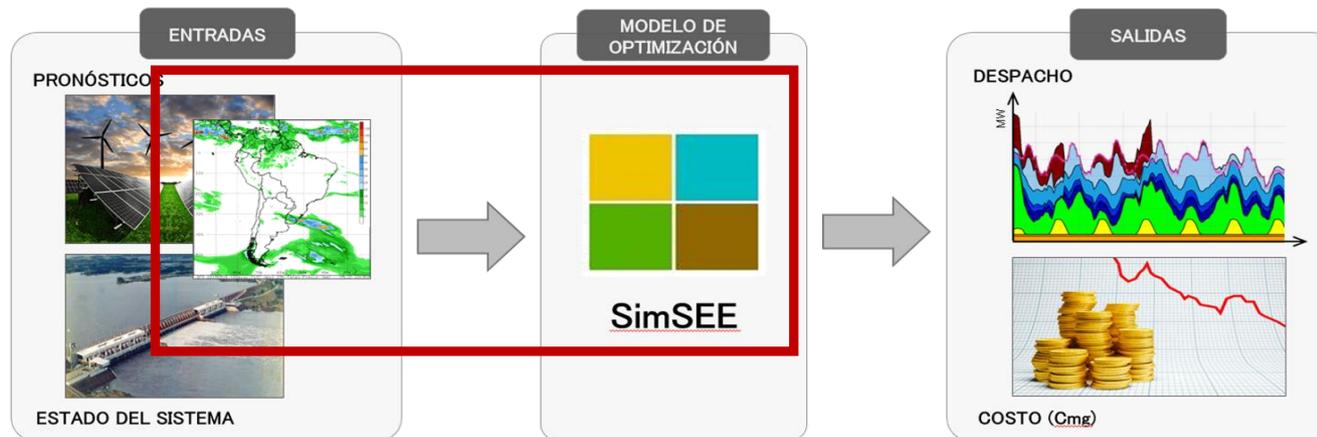


# INTRODUCCIÓN

## Contexto

Desde hace algunos años ADME y el IMFIA-FING se encuentran trabajando en:

- ❖ El desarrollo de un **modelo hidrológico para la simulación de los caudales de aporte** a las centrales hidroeléctricas del río Negro.
- ❖ La **integración de ensambles de pronósticos hidrológicos** a las herramientas de operación del sistema eléctrico (SimSEE).



# INTRODUCCIÓN

## Contexto

El modelo hidrológico, acoplado al SimSEE, se encuentra **operativo desde el año 2019**.

The screenshot shows the ADME website dashboard with the following sections:

- Navigation Menu (Left):** Inicio, Panel de control, Agentes(SII), DNC Operación, PRONOS, Administración, Informes, MDL, Institucional, Biblioteca, I+D, Datos abiertos, Contacto.
- Balance de potencias. (ver consignas por central):**

Potencia instantánea. @2022-10-18 23:01:43

Map showing power flow between regions: Salto (0 MW), Rivera (0 MW), Tacuarembó, Cerro Largo (0 MW), Flores, Florida, Lavalleja, Rocha, San José, Cane, Montevideo.

Legend for generation sources:

  - EÓLICA - 1007 MW - 76 %
  - SOLAR - 0 MW - 0 %
  - BIOMASA - 72 MW - 5 %
  - HIDRÁULICA - 254 MW - 19 %
  - TERMICA - 0 MW - 0 %
  - IMPORTACIONES - 0 MW - 0 %

DEMANDA: 1342 MW
- Despacho últimas 48 horas. (aproximado a partir de información del SCADA):**

Stacked area chart showing power dispatch over 48 hours.
- Novidades:**

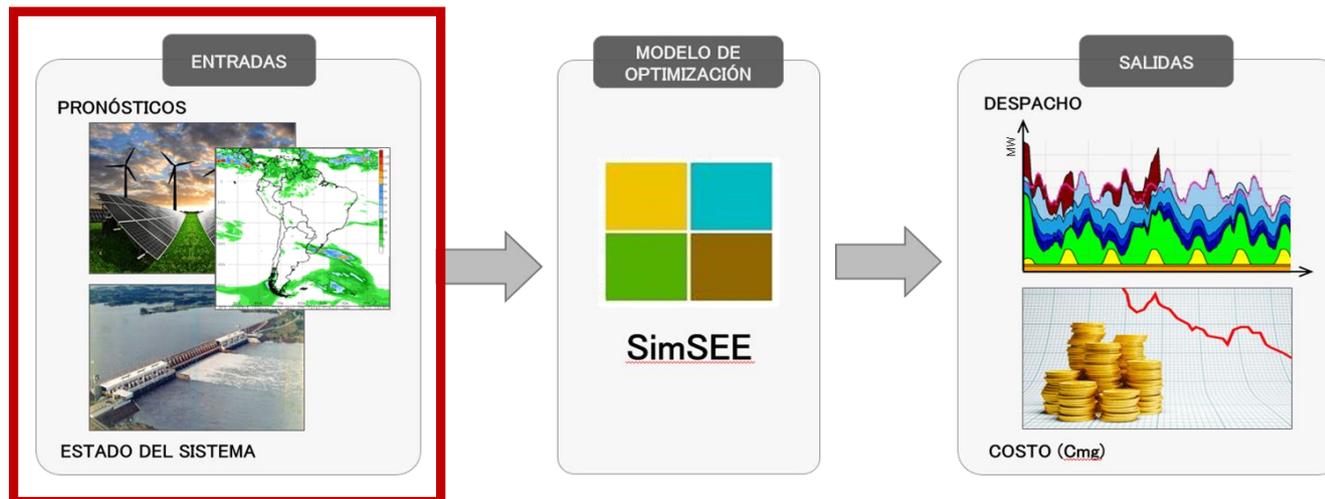
Reporte Técnico - ADME. Mejora de modelos de pronósticos de generación eólica 2022.
- Proyección de la generación por fuente:**

Stacked area chart showing generation projection by source over time.
- Operational Forecasts (Bottom):**
  - Pronósticos de operación: Vates(CP | MP | Salas CP | Salas MP)
  - Pronósticos de eólica y solar: PRONOS.
  - Pronósticos de aportes hidráulicos: PRONOS\_HIDRO
  - Pronósticos de Demanda: <https://demanda.adme.com.uy>

# INTRODUCCIÓN

## Objetivo

- ❖ Evaluación retrospectiva de la calidad de los pronósticos por ensambles de precipitación y caudal en la cuenca del Río Negro desde la puesta en operación.
- ❖ Mejora de la estimación del estado del sistema (cuenca) al inicio de cada ciclo de pronóstico mediante la asimilación de datos observados de caudal.

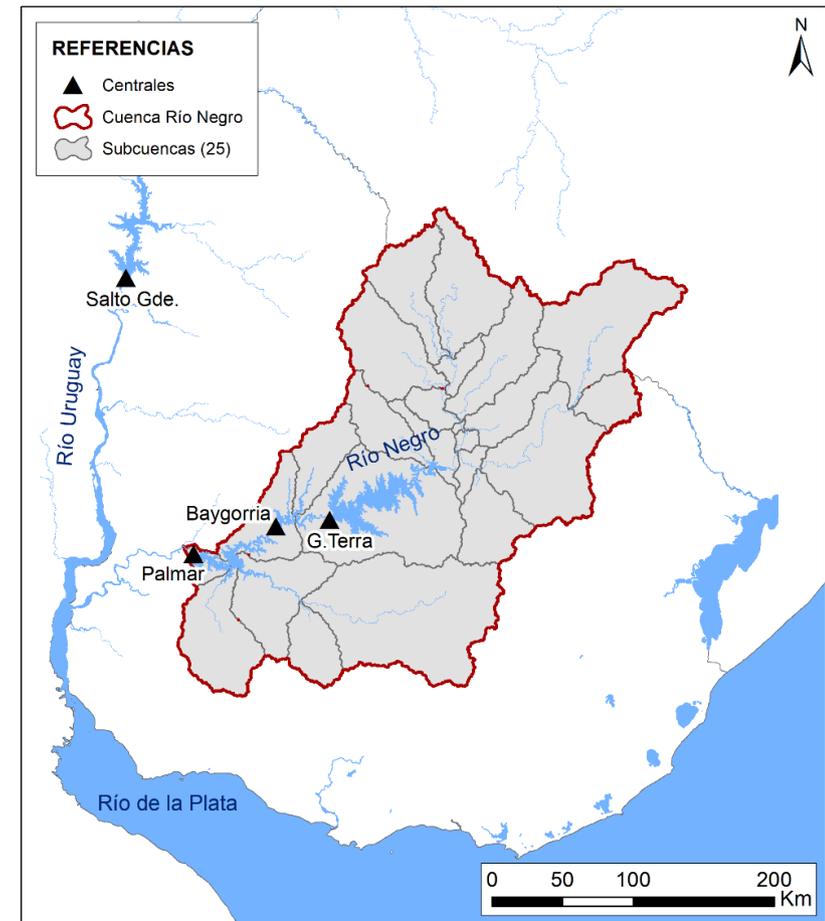


# MODELACIÓN HIDROLÓGICA

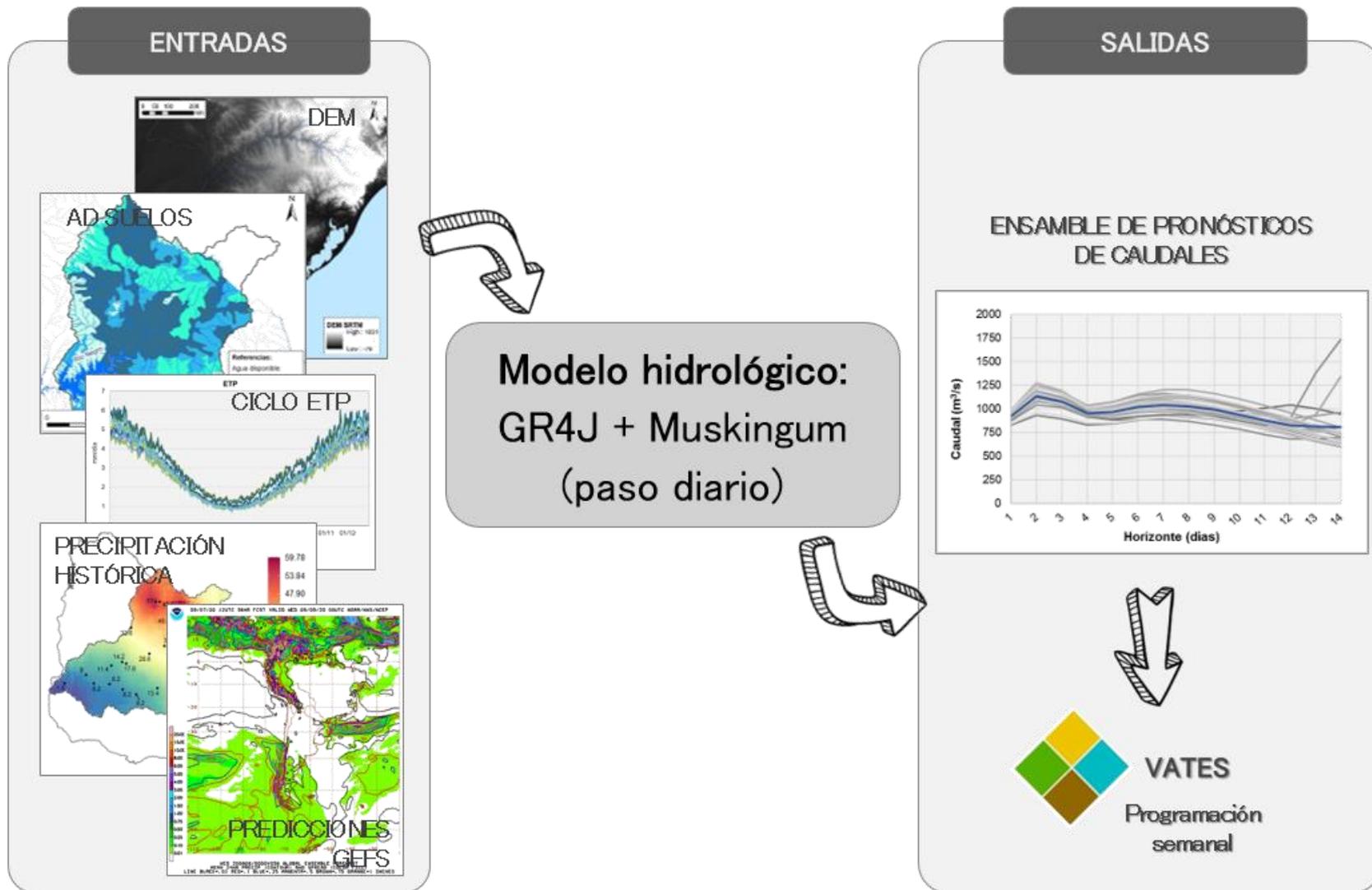
## Área de estudio: Cuenca del Río Negro

- ❖ Cuenca transfronteriza con Brasil.
- ❖ Extensión superficial: 62.900 km<sup>2</sup>
- ❖ Discretización en 25 subcuencas en base al MDT de la NASA SRTM 90x90 m.
- ❖ Tres centrales hidroeléctricas en serie: G. Terra, Baygorria y Constitución.

Central	Coordenadas UTM 21S (km)	Potencia instalada (MW)	Volumen máximo (Hm <sup>3</sup> )	Cuenca de aporte (km <sup>2</sup> )
Gabriel Terra	(554, 6367)	152	8.800	39.500
Baygorria	(518, 6363)	108	570	4.100 (incremental)
Constitución	(458, 6343)	333	2.854	19.200 (incremental)
Salto Grande	(411, 6540)	945	5.000	244.000



# MODELACIÓN HIDROLÓGICA



# EVALUACIÓN DE PRONÓSTICOS

## Metodología

- ❖ Periodo analizado: Agosto de 2017 a Octubre de 2020 (**1150 ciclos de pronóstico**).
- ❖ Resolución temporal **diaria** (acumulado de las últimas 24 horas a las 10UTC).
- ❖ Combinación de indicadores de desempeño y gráficos de diagnóstico, de manera de abarcar diferentes aspectos de la calidad del pronóstico.

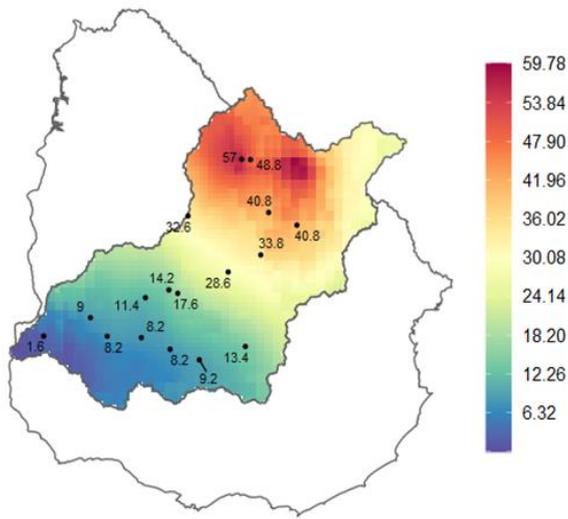
# EVALUACIÓN DE PRONÓSTICOS

## Metodología

### ❖ Precipitación

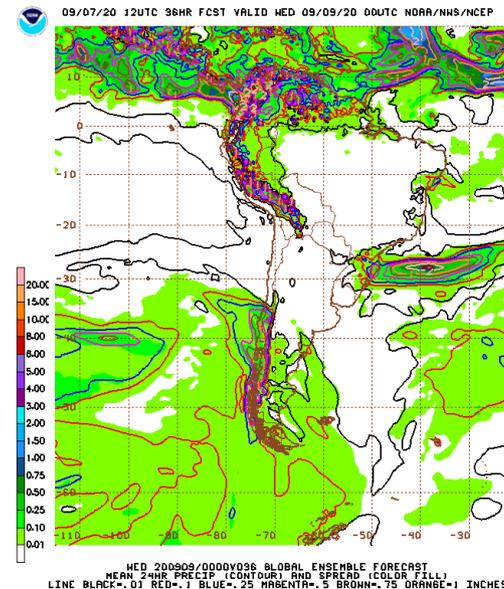
#### **Serie de referencia:**

Estimación en base a la combinación de imágenes satelitales y observaciones en superficie



#### **Pronóstico:**

GEFS v11 (ctl + 20 miembros), simulación iniciada a las 00UTC



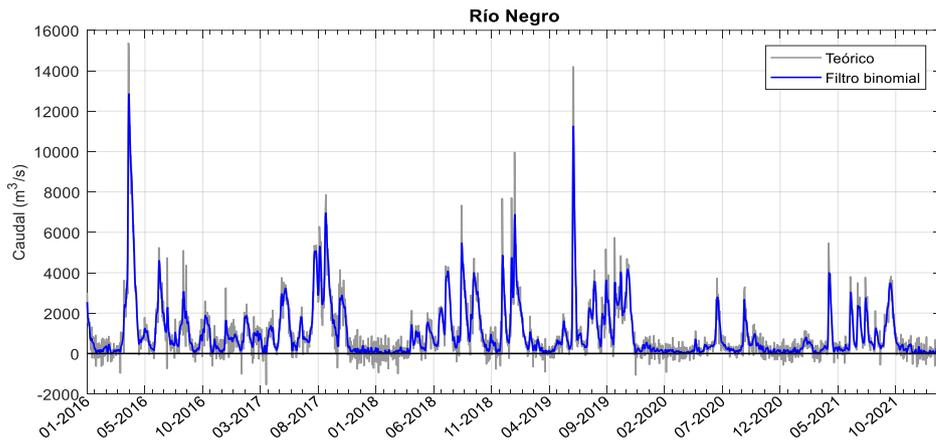
# EVALUACIÓN DE PRONÓSTICOS

## Metodología

### ❖ Caudal

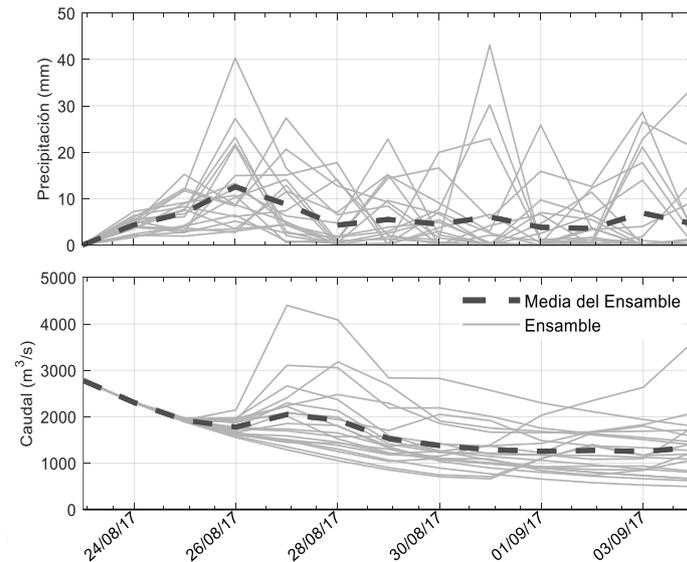
#### Serie de referencia:

Series “teóricas” de aporte a las centrales brindadas por UTE (estimación indirecta).



#### Pronóstico:

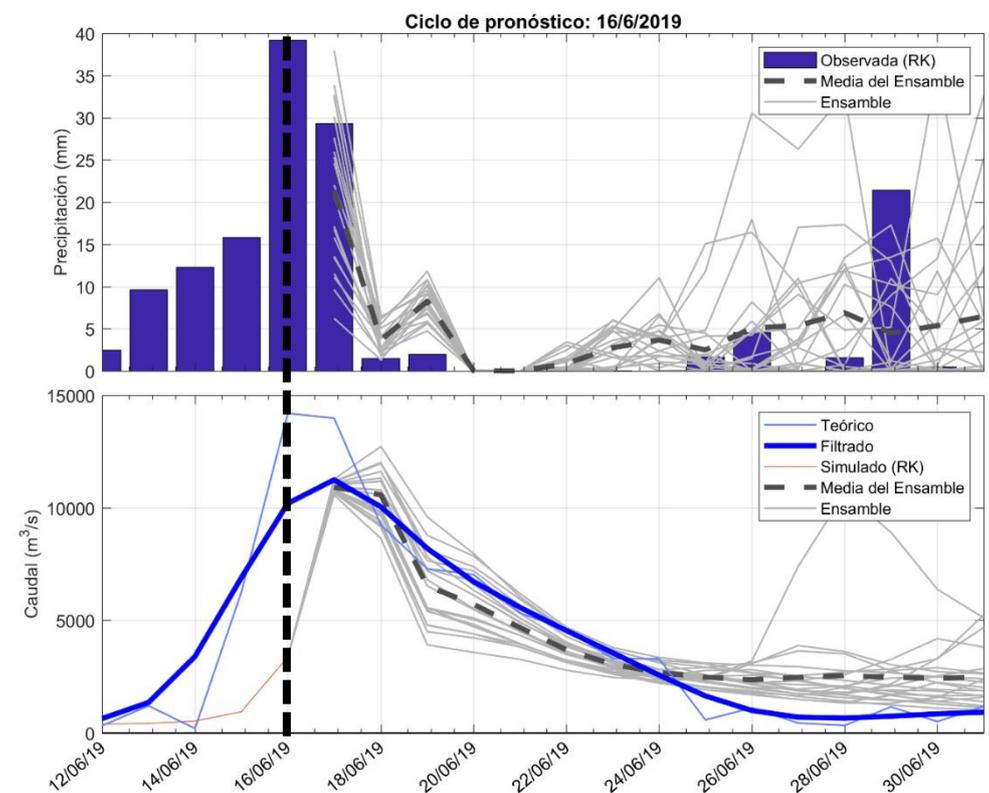
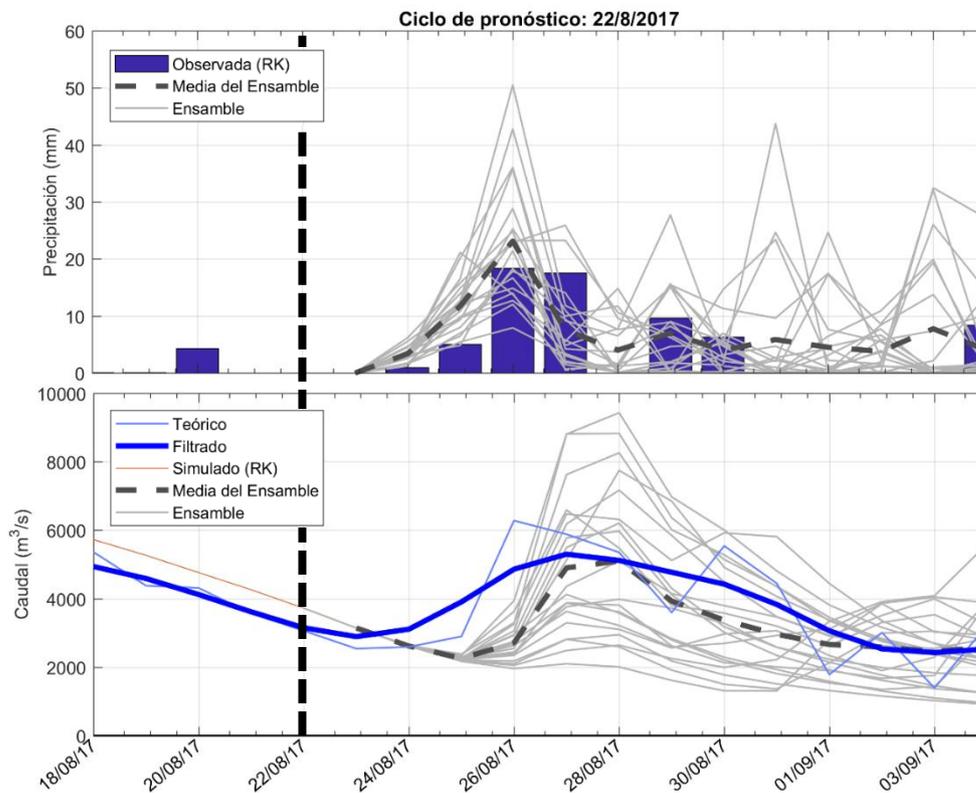
Caudales obtenidos a partir del modelo hidrológico alimentado por los pronósticos del GEFS



# EVALUACIÓN DE PRONÓSTICOS

## Ejemplos de pronósticos

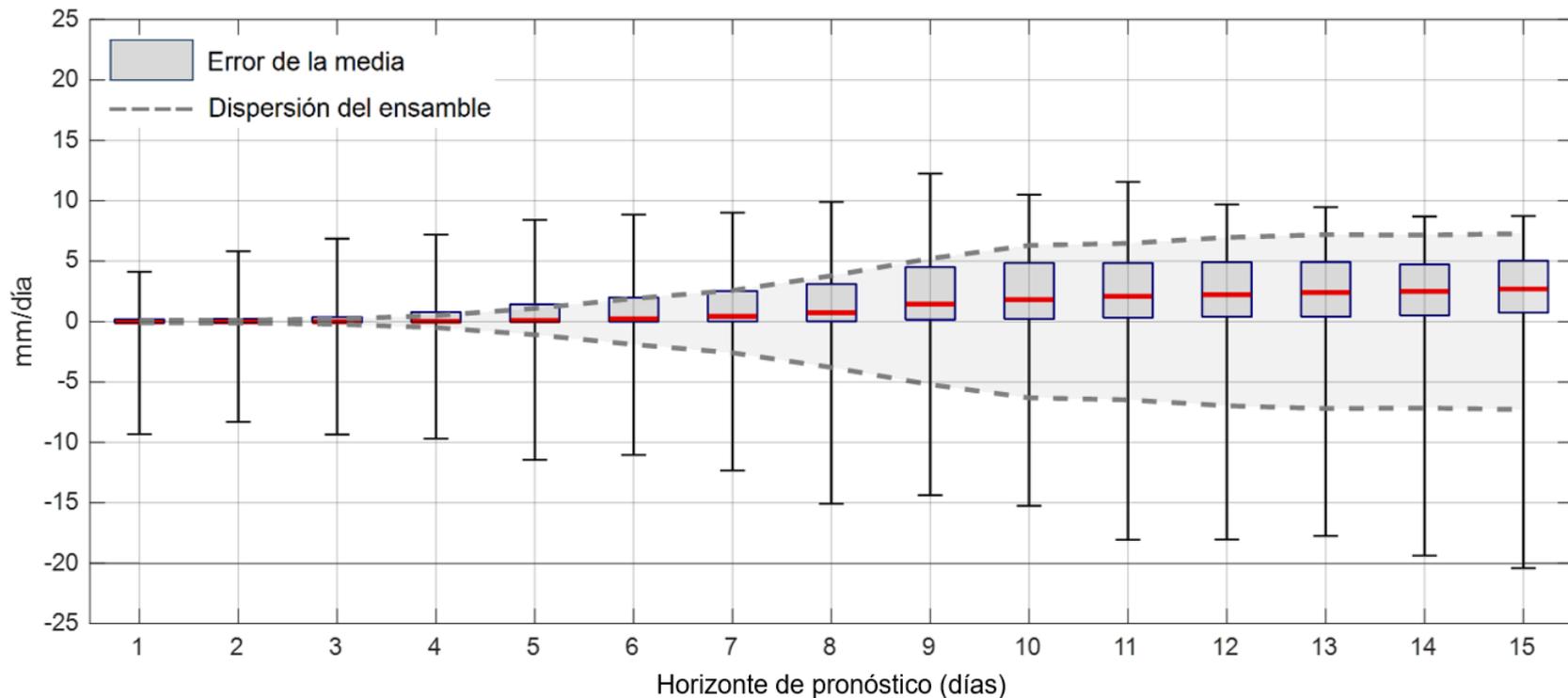
❖ Cuenca de aporte del río Negro con cierre en Constitución (Cuenca RN)



# EVALUACIÓN DE PRONÓSTICOS

## Precipitación

- ❖ Caracterización del error y la dispersión del ensamble (Cuenca RN)

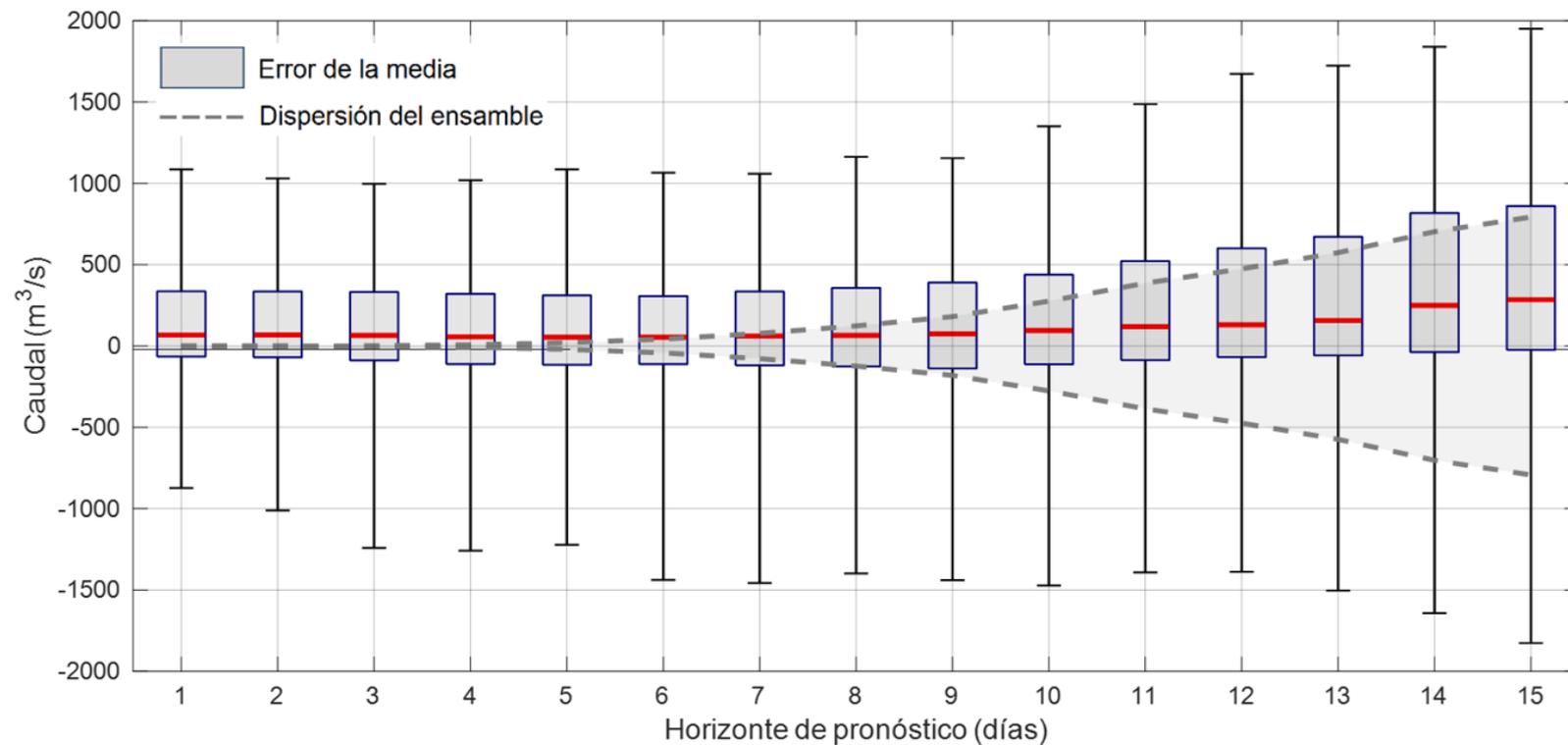


(\*) Se incluyen los percentiles 25, 50, 75 (cajas) y 5 y 95 (bigotes).

# EVALUACIÓN DE PRONÓSTICOS

## Caudal

- ❖ Caracterización del error y la dispersión del ensamble (Cuenca RN)



(\*) Se incluyen los percentiles 25, 50, 75 (cajas) y 5 y 95 (bigotes).

# EVALUACIÓN DE PRONÓSTICOS

## Caudal

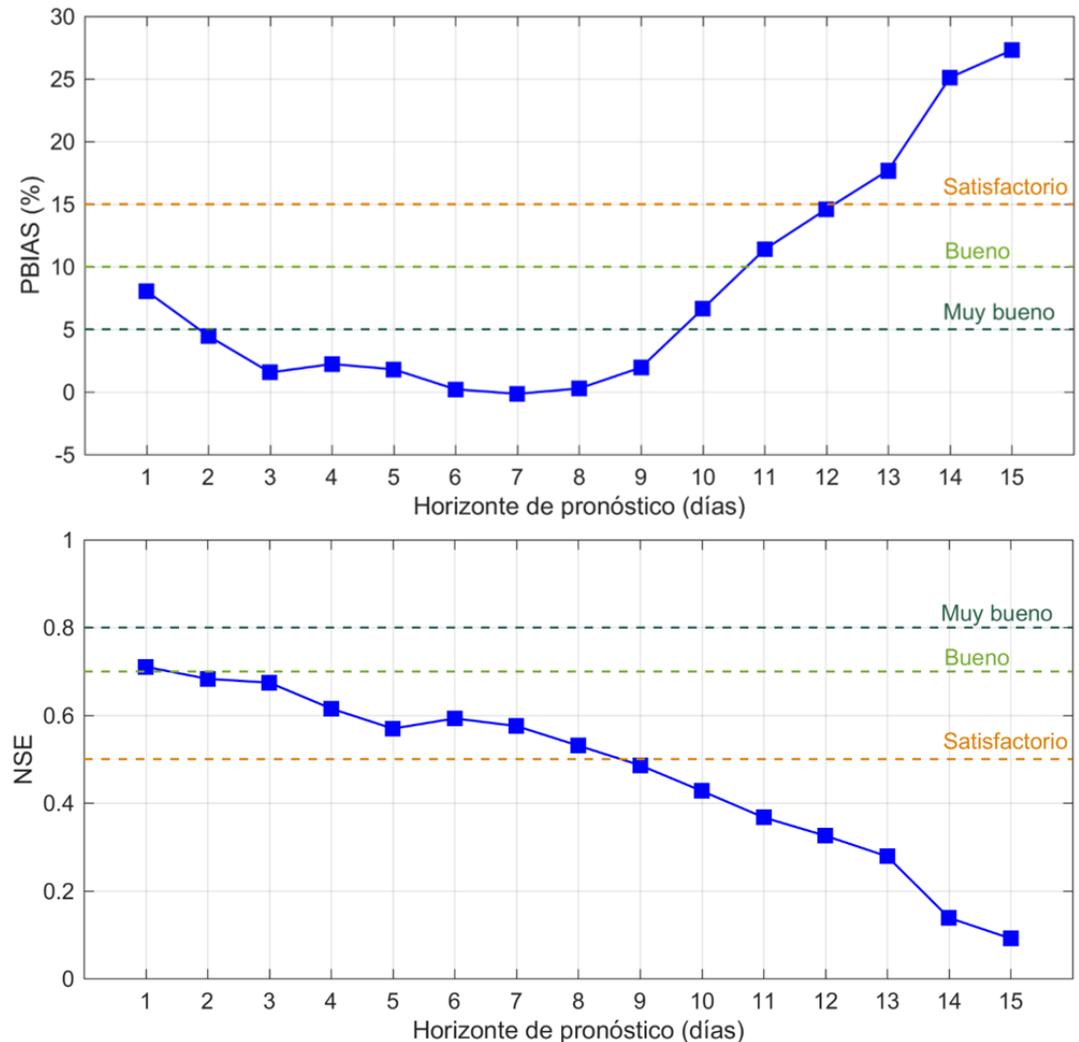
### Indicadores de desempeño para la media del ensamble

- ❖ Porcentaje de sesgo (0):

$$PBIAS = 100 * \frac{\sum_{t=1} (Q_{sim}(t) - Q_{obs}(t))}{\sum_{t=1} (Q_{obs}(t))}$$

- ❖ Eficiencia de Nash-Sutcliffe (1):

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1} (Q_{obs}(t) - Q_{sim}(t))^2}{\sum_{t=1} (Q_{obs}(t) - \mu_{obs})^2}$$



# EVALUACIÓN DE PRONÓSTICOS

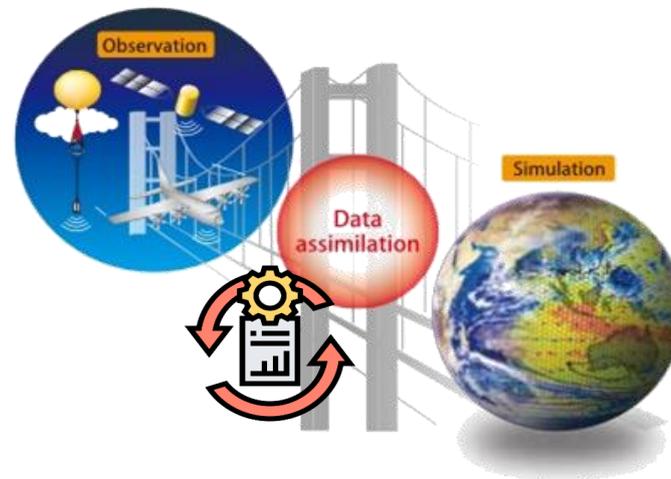
## Conclusiones

- ❖ A medida que se avanza en el horizonte de pronóstico, aumenta el error y la dispersión de los miembros del ensamble, disminuyendo la predictibilidad del sistema.
- ❖ En ambos casos se identificó una tendencia en el error de la media del ensamble hacia valores positivos (tendencia a la sobreestimación).
- ❖ Durante los primeros días del horizonte de pronóstico el ensamble tiene una dispersión excesivamente baja.
- ❖ A medida que avanza el horizonte de pronóstico el ensamble tiende a estar mejor distribuido.
- ❖ Este resultado es aún más notorio en el caso de los caudales, en el cual la dispersión del ensamble es prácticamente nula hasta el día 5 de pronóstico.
- ❖ Los resultados obtenidos evidencian la **necesidad de la asimilación de datos** de caudal observados.

# ASIMILACIÓN DE CAUDALES

## Metodología

- ❖ La representación del campo de precipitaciones observado es siempre imperfecta, a la cual se suman los errores introducidos en la modelación hidrológica.
- ❖ Es necesario implementar un **proceso de ajuste que opere como parte de la simulación continua**, atenuando estas derivaciones de la simulación respecto de la realidad.



# ASIMILACIÓN DE CAUDALES

## Metodología

- ❖ El ajuste se plantea como una **corrección de la precipitación antecedente** hasta el día de inicio del pronóstico.
- ❖ La magnitud del ajuste es **proporcional a la amplitud del error relativo del caudal** simulado.

$$\varepsilon_T = \frac{\text{abs}(Q_{sim} - Q_{obs})}{\max(Q_{sim}, Q_{obs})}$$

- ❖ Dicha corrección puede ser implementada solo en aquellas **cuencas en donde se cuenta con registro observado de caudales** y por tanto se puede estimar el error del sistema de pronóstico.

# ASIMILACIÓN DE CAUDALES

## Metodología

Asimilación de caudales en:

### ❖ Rincón del Bonete

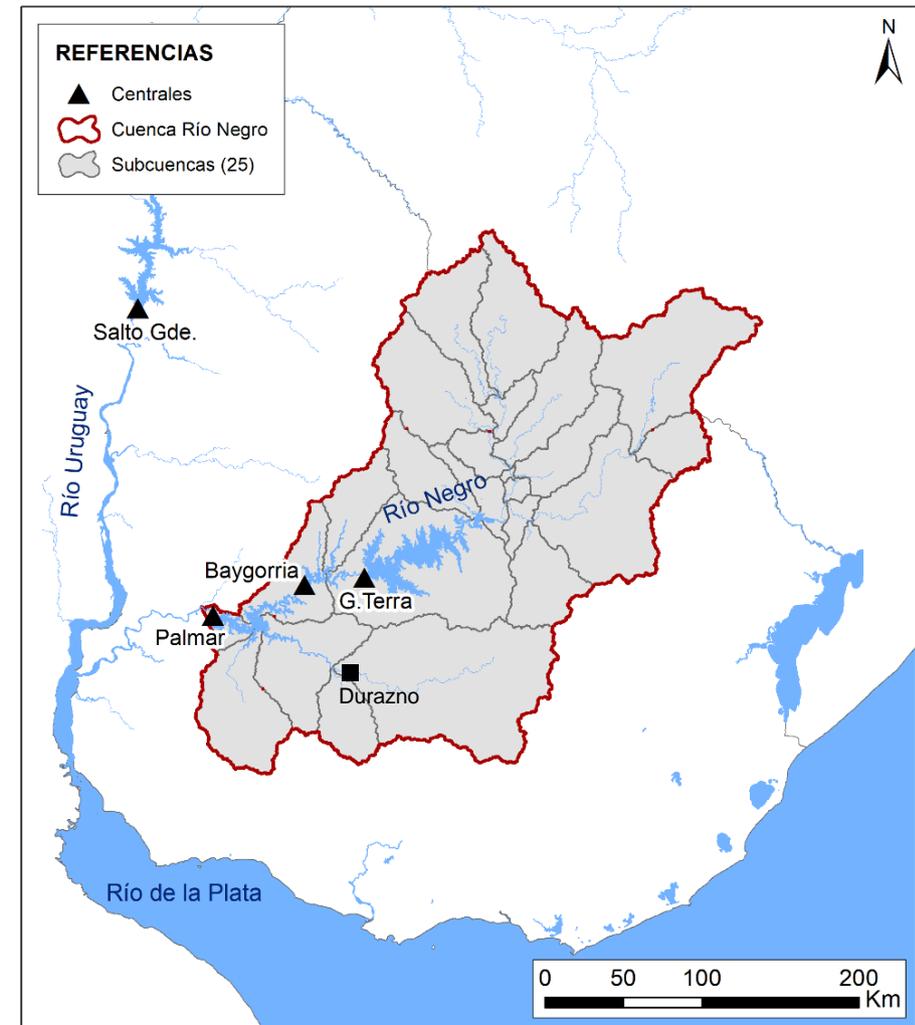
Cuenca de aporte: 39.500 km<sup>2</sup>

Estimación indirecta a partir de un balance de masa al embalse

### ❖ Durazno (río Yí)

Cuenca de aporte: 8.900 km<sup>2</sup>  
(subcuenca de aporte a Palmar)

Registros medidos de caudal

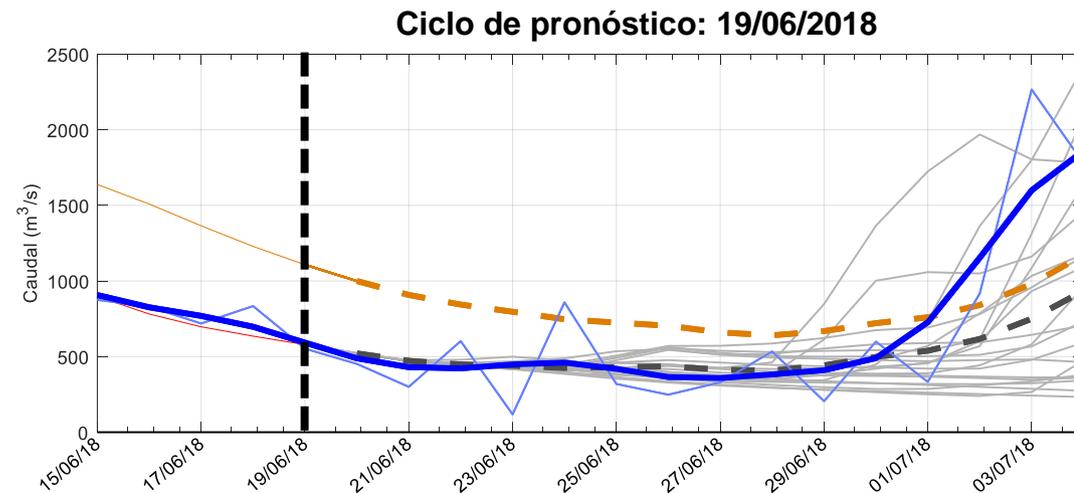
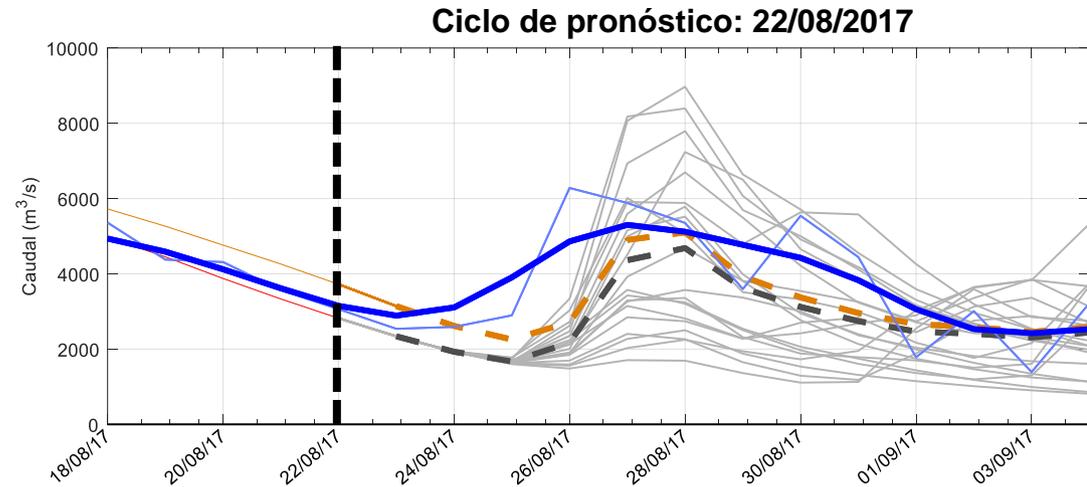


# ASIMILACIÓN DE CAUDALES

## Resultados

### ❖ Ejemplos de pronósticos (Cuenca RN)

- Teórico
- Filtrado
- Simulado (RK)
- Simulado (Ajuste)
- - - Media del Ensemble (Original)
- - - Media del Ensemble (Ajuste)
- Ensemble

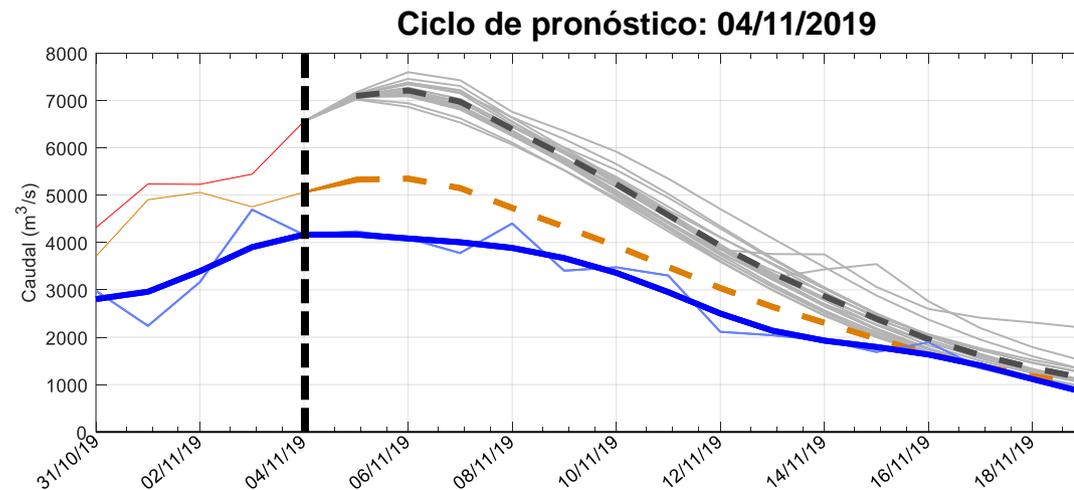
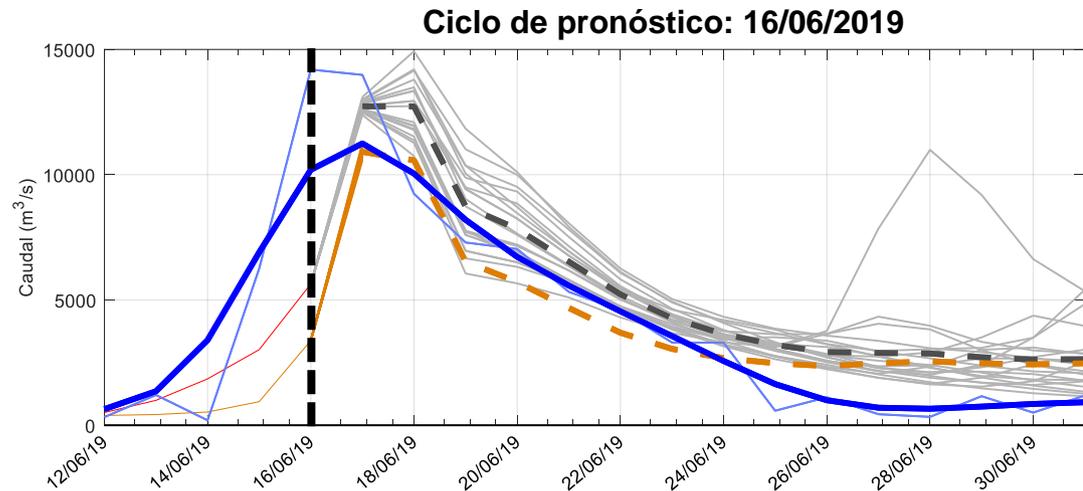


# ASIMILACIÓN DE CAUDALES

## Resultados

### ❖ Ejemplos de pronósticos (Cuenca RN)

- Teórico
- Filtrado
- Simulado (RK)
- Simulado (Ajuste)
- - - Media del Ensemble (Original)
- - - Media del Ensemble (Ajuste)
- Ensemble



# ASIMILACIÓN DE CAUDALES

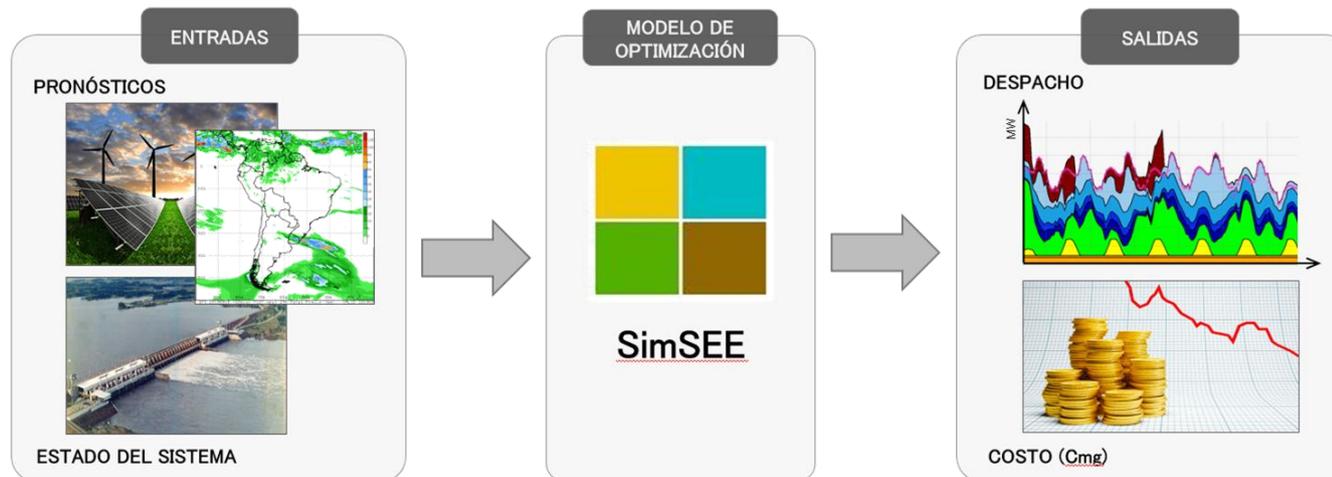
## Conclusiones

- ❖ La metodología de asimilación propuesta logra reducir significativamente el error al inicio del pronóstico para el rango de caudales comprendidos hasta el percentil 90.
- ❖ Sin embargo, para caudales muy altos, la asimilación introduce sesgos positivos importantes (sobrestimación).
- ❖ La mejora en el desempeño se atenúa a medida que se avanza en el horizonte de pronóstico.

# CONCLUSIONES

Como producto del trabajo conjunto entre ADME y la Facultad de Ingeniería, se dispone de una **herramienta operativa de modelación hidrológica** con asimilación de datos observados de caudal en la cuenca del río Negro, **acoplada con la simulación del sistema eléctrico del país**, que actualmente es empleada para definir el **despacho energético semanal** de la programación de mediano plazo.

Dicha herramienta constituye una **plataforma robusta de base** en la cual seguir trabajando y mejorando la habilidad de los pronósticos y, en particular, del esquema de asimilación de datos.



# PASOS FUTUROS

- ❖ Implementación de la asimilación en cuencas con datos de caudal medidos (no estimados de forma indirecta) que, además, suelen tener una menor extensión superficial que las cuencas de las centrales hidroeléctricas.
- ❖ Filtrado y ajuste estadístico, y con sentido físico (asociado al viento local), de las series diarias de caudales de aporte teóricos a los embalses, incluyendo el análisis de las estimaciones de los caudales erogados por vertido y turbinado.
- ❖ Avanzar en la implementación y evaluación de la asimilación de información satelital de humedad de suelo en el modelo hidrológico.

# PUBLICACIONES

- ❖ 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., Crisci M., Chaer R., Terra R. (2020). Integración de ensambles de pronósticos hidrológicos a las herramientas de operación del sistema eléctrico en Uruguay. *ENERLAC*, IV(1), 96-117. ISBN digital: 2631-2522. Available online: <http://enerlac.olade.org/index.php/ENERLAC/article/view/122/147>
- ❖ Flieller G., Chaer, R. (2020). Introduction of ensemble based forecasts to the electricity dispatch simulator SimSEE. In *Proceedings of the IEEE Power & Energy Society T&D–Latin America*.

Bajo revisión en *Revista Iberoamericana del Agua (RIBAGUA)*:

- ❖ 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.

# ¡MUCHAS GRACIAS!

**Alejandra De Vera**

[adevera@fing.edu.uy](mailto:adevera@fing.edu.uy)

