



Asociación de Universidades  
GRUPO MONTEVIDEO



# Evaluación de pronósticos de precipitaciones en la cuenca del río Negro

Sofía Orteli <sup>a</sup>, Gabriel Cazes Boezio <sup>b</sup>

<sup>a</sup> *Administración Nacional de Usinas y Transmisiones Eléctricas, Uruguay, sortelli@ute.com.uy.*

<sup>b</sup> *Universidad de la República, Facultad de Ingeniería, Uruguay, agcm@fing.edu.uy.*

**RESUMEN:** En este trabajo se presentan los resultados de la evaluación de dos pronósticos de precipitación para la región de Uruguay, en particular la cuenca del río Negro. Se utilizaron los pronósticos globales GFS y ECMWF de la inicialización 00GMT para los años 2015 a 2018. En cada caso se evalúa el pronóstico de control (no perturbado) considerando el acumulado de precipitaciones en 24 horas. Los pronósticos globales de precipitaciones se interpolaron a cada pluviómetro de la cuenca y luego se promediaron estos en subcuencas. Las dos fuentes de datos de pronósticos tienen resultados diferentes. Esto permite hacer uso de ellos de modo diferente según los objetivos que busquemos: predicción óptima de valores esperados o previsión de probabilidad de ocurrencia de eventos extremos. En este sentido se plantea si la combinación de pronósticos puede mejorar las predicciones para eventos extremos mientras que para aplicaciones en modelos hidrológicos ya desarrollados podría ser conveniente utilizar solamente uno de ellos.

**PALABRAS CLAVE:** precipitación, pronósticos meteorológicos, hidrología.

## 1 INTRODUCCIÓN

Conocer la distribución espacial y temporal de la precipitación es de suma importancia para diversas actividades entre las que se cuentan aquellas relacionadas con el pronóstico del tiempo, la hidrología, la industria y el agro.

En Uruguay la cuenca del río Negro participa activamente en la gestión de los embalses del país. Es una cuenca transfronteriza que nace en Brasil, en el estado de Río Grande del Sur a unos 50 km al norte de la frontera con Uruguay, y pertenece a la Región Hidrográfica del Río Uruguay. Tiene una extensión total de 850 km, un desnivel de 140 m y una superficie de 71.400 km<sup>2</sup>.

Como describe Patrone et al. (2010), el objetivo de la gestión de embalses es suministrar la información necesaria para optimizar el manejo de los embalses del río Negro, garantizando en todo momento la seguridad de las obras e instalaciones de generación y la menor afectación a terceros, tanto aguas arriba como aguas abajo de las presas.

La operación del Sistema Hidroeléctrico del río Negro requiere de un adecuado conocimiento de los caudales de aporte y niveles de control, así como de los volúmenes precipitados en las distintas subcuencas que conforman la cuenca del río Negro (a efectos de realizar las previsiones correspondientes). Este conocimiento, que permite planificar la oferta energética y realizar una gestión optimizada de los embalses, se basa en la calidad y cantidad de información suministrada por la red Hidrometeorológica en servicio. Una buena red de estaciones pluviométricas ayuda a la verificación de los pronósticos numéricos, a la calibración de pronósticos probabilísticos y contribuye a la calibración de los modelos hidrológicos. Un conocimiento detallado de la distribución espacial de la precipitación es fundamental para la estimación de la humedad del suelo en la región, variable que a su vez tiene un gran impacto en la calidad de los pronósticos hidrológicos a corto plazo (Gevaerd y Freitas, 2006).

La red Hidrometeorológica del río Negro permite disponer de un eficaz sistema de alerta para el manejo de crecidas. En Uruguay las instituciones nacionales comenzaron a desarrollar un Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones (SATI-UY), Silveira et al. (2008), que depende de la precisión de los pronósticos meteorológicos, puesto que la alerta con base en solamente datos medidos es útil con períodos de antelación significativamente menores.

Las actividades antes mencionadas, requieren una representación confiable de la precipitación. Por lo tanto es necesario conocer los errores sistemáticos de los pronósticos globales y desarrollar algoritmos de calibración que permitan reducirlos o eliminarlos. Mejorar la precisión de los pronósticos de precipitación es uno de los objetivos principales para la gestión de los embalses de Uruguay, así como para optimizar los modelos hidrológicos operativos.

Los errores de los pronósticos de precipitación a menudo no se distribuyen normalmente y tienen un error espacial o temporal correlacionado (Wilks 1997; Livezey y Chen 1983). Para analizar la habilidad de los mismos consideramos la tabla de contingencia, de aciertos, fallas y falsas alarmas.

El análisis de los pronósticos de precipitación se realizó para el período 2015-2018 en la cuenca del río Negro que se muestra en la Figura 1 junto con las principales cuencas del país.

El documento se organizará de la siguiente manera. Las Secciones 2.1 y 2.2 describe los datos de precipitación, observados y pronosticados. En la Sección 2.3 se describen los estadísticos que se utilizan para evaluar los pronósticos. La Sección 3 presenta los resultados y finalmente la Sección 4 proporciona conclusiones y recomendaciones.

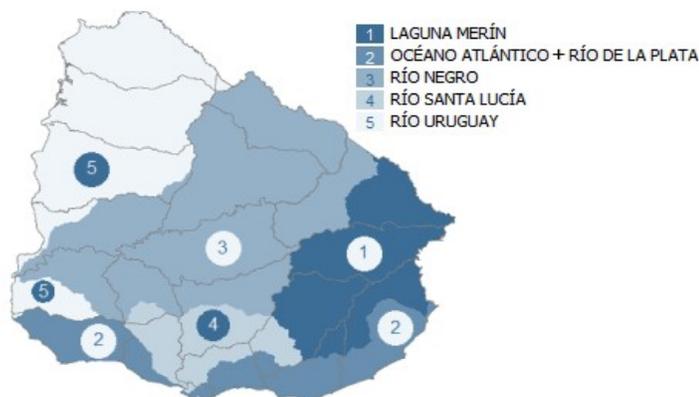


Figura 1. Principales cuencas de Uruguay. Fuente: Instituto Uruguayo de Meteorología, INUMET.

## 2 DATOS Y METODOLOGÍA

### 2.1 Datos de la red pluviométrica

Los datos observados de precipitación se obtuvieron de la red pluviométrica en servicio en la cuenca del río Negro. La misma provee datos en valores de precipitación acumulada en 24 horas medidos a las 10 UTC. Los datos corresponden a cada pluviómetro instalado y también a subcuencas que serán las analizadas en este trabajo.

### 2.2 Datos de pronósticos globales

Se analizaron dos pronósticos de control globales. Por un lado el del Sistema de Pronóstico Global (GFS, siglas en inglés) del Servicio Nacional de Meteorología de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) y el pronóstico del Centro Europeo de Previsiones

Meteorológicas a mediano plazo, (ECMWF, European Center for Medium Range Weather Forecasts).

En ambos casos se consideró la inicialización 00GMT, en el área [-20N -45S; -45W -65E] para una grilla de 1°x1°.

### 2.3 *Parámetros seleccionados para la verificación.*

El primer paso para estudiar la relación entre las observaciones de precipitación y los pronósticos globales fue verificar la calidad de los pronósticos contra las observaciones en base al cálculo de diferentes parámetros que permitieran analizar las diferencias entre ambos conjuntos de datos.

Para obtener medidas de la bondad del ajuste entre ambos conjuntos de datos, se calculó el error cuadrático medio (ECM) y el coeficiente de correlación lineal (R). Se emplearon, además, medidas frecuentemente utilizadas en la evaluación de la calidad de los pronósticos numéricos de precipitación como el Equitable Treath Score (ETS) (Schaefer, 1990) (Ecuaciones 1 y 2). Para el cálculo de este índice, los valores de precipitación acumulada se separan en umbrales y para cada umbral se calculan las cantidades de acierto, sorpresa y falsa alarma, donde acierto representa la cantidad de casos en los que tanto la precipitación estimada como la observada estuvieron por encima del umbral seleccionado, sorpresa indica la cantidad de casos en los que la lluvia observada estuvo por encima del umbral, pero la lluvia estimada estuvo por debajo, falsa alarma indica la cantidad de casos en los que la estimación estuvo por encima del umbral, pero la lluvia observada estuvo por debajo y total el número de pares estimación-observación considerados. El índice ETS tiene un valor máximo de 1 que corresponde a una estimación perfecta. Un valor de 0 en el ETS representa una estimación en donde el número de aciertos es similar al que se obtendría por azar expresado por la cantidad aciertos. También se calculó el sesgo, como el cociente entre la frecuencia estimada de un evento y la frecuencia observada (Ecuación 3), valores de sesgo cercanos a 1 indican que la frecuencia de ocurrencia de lluvias por encima de un determinado umbral en la estimación es similar a lo observado, valores inferiores indican un déficit mientras que valores mayores que 1 indican una sobreestimación de la frecuencia de dichos eventos.

$$ETS = \frac{\text{acierto} - \text{aciertor}}{\text{acierto} + \text{sorpresa} + \text{falsa alarma} - \text{aciertor}} \quad (1)$$

$$\text{aciertor} = \frac{(\text{acierto} + \text{sorpresa})(\text{acierto} + \text{falsa alarma})}{\text{total}} \quad (2)$$

$$\text{sesgo} = \frac{\text{aciertor} + \text{sorpresa}}{\text{falsa alarma} + \text{aciertor}} \quad (3)$$

## 3 RESULTADOS

### 3.1 *Verificación de las estimaciones*

En la Tabla 1 se resumen los valores del error cuadrático medio (ECM) y la correlación lineal (R) entre las observaciones y los pronósticos para las diferentes cuencas. En este caso no se discrimina en umbrales, si no que el resultado corresponde a considerar todos los datos disponibles.

Tabla 1. Valores de ECM y coeficiente de correlación (R) para las diferentes cuencas y los dos pronóstico analizados

Cuenca	ECMWF		GFS	
	ECM	R	ECM	R
1	7.13	0.75	8.85	0.60
2	7.36	0.76	8.95	0.63
3	7.53	0.75	9.06	0.63
4	6.94	0.70	8.39	0.55

### 3.2 Histograma de errores

Para evaluar la habilidad de los pronósticos, calculamos el histograma del error, definido como la diferencia entre el pronóstico y la observación de precipitación. En las Figuras 2 y 3 se muestran los histogramas para ECMWF y GFS respectivamente. En este caso se fijó un umbral de 10mm/día para analizar estos resultados: solo se consideran los casos en que se observaron o pronosticaron precipitaciones superiores a dicho umbral.

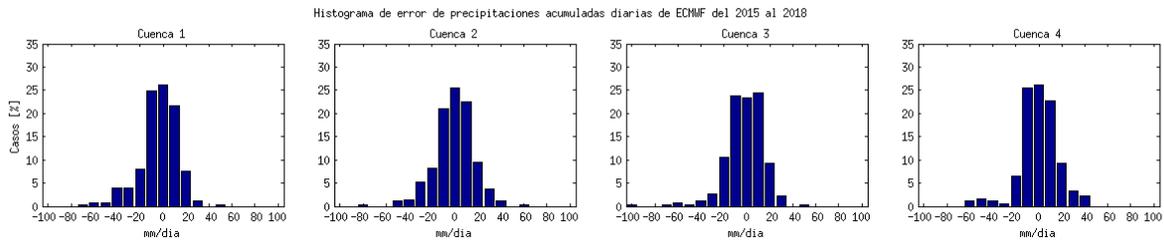


Figura 2. Histograma de error de precipitaciones acumuladas diarias de ECMWF en cuatro cuencas.

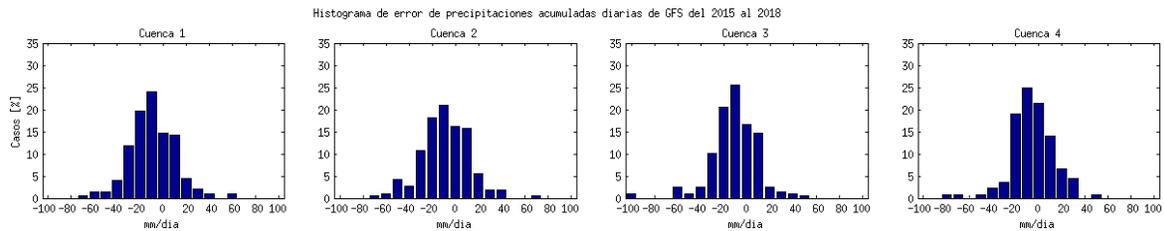


Figura 3. Histograma de error de precipitaciones acumuladas diarias de GFS en cuatro cuencas.

### 3.3 Diagrama de dispersión

En las Figuras 4 y 5, se presentan los diagramas de dispersión para las cuatro cuencas estudiadas y los dos pronósticos utilizados, ECMWF y GFS, respectivamente. El eje de las abscisas corresponde a los datos de pronóstico y el eje de las ordenadas a los datos observados, acumulados en 24 horas. Los puntos rojos son los datos que están por debajo del umbral elegido, 10mm/día, y los puntos azules los datos que superan este umbral.

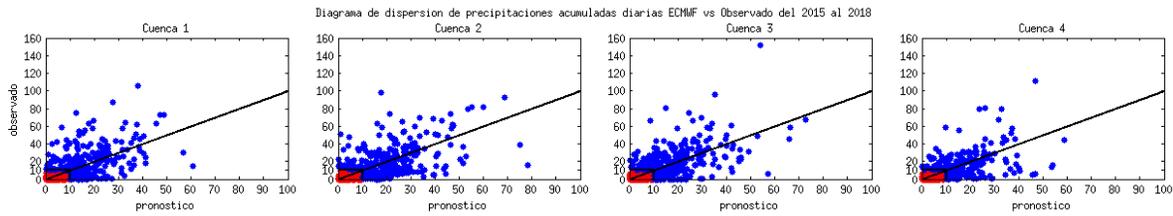


Figura 4. Diagrama de dispersión de precipitaciones acumuladas diarias del pronóstico ECMWF vs. observaciones para cuatro cuencas. Se marca el umbral 10mm/día.

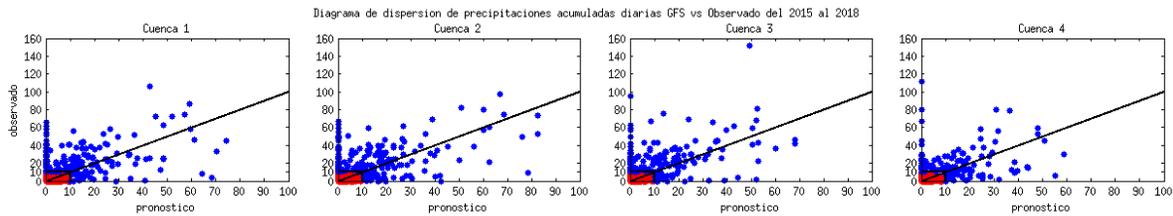


Figura 5. Diagrama de dispersión de precipitaciones acumuladas diarias del pronóstico GFS vs. observaciones para cuatro cuencas. Se marca el umbral 10mm/día.

Del diagrama de dispersión se puede apreciar que para umbrales altos la muestra de datos se reduce a pocos casos. Mientras que los histogramas de error muestran que el pronóstico ECMWF tiende a sobreestimar las precipitaciones, y el GFS tiende a subestimarlas. Recordar que estos resultados se obtuvieron de considerar un umbral de 10mm/día.

Para evaluar la habilidad de los pronósticos se muestra en las Figuras 6 y 7 los valores de sesgo y ETS en función de diferentes umbrales de precipitación. Los valores se pueden comparar con diferentes estudios que se han hecho y se observa que son resultados esperados, (Ruiz 2009).

La reducción del sesgo sistemático es una característica muy deseable para las diferentes aplicaciones discutidas en la introducción de este trabajo. En particular para obtener un sistema de alertas ante eventos extremos, se observa que es conveniente utilizar al menos dos modelos para aumentar así las probabilidades de detección de los mismo, Silveira et al. (2018) evalúan pronósticos operativos de alerta hidrológica para la ciudad de Durazno ubicada en la cuenca 4 de este estudio, y concluyen que la combinación de pronósticos permite detectar los eventos extremos con seguridad.

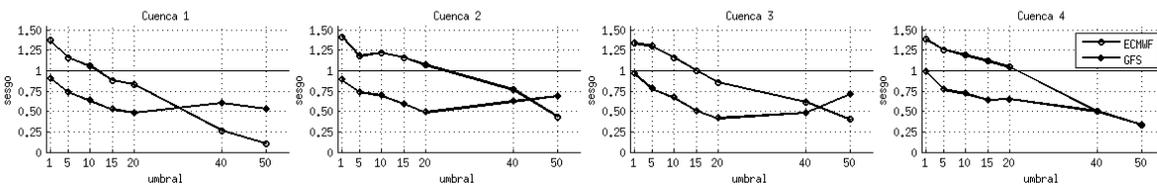


Figura 6. Gráfico de sesgo para los pronósticos ECMWF y GFS en función de los umbrales de precipitación para cuatro cuencas.

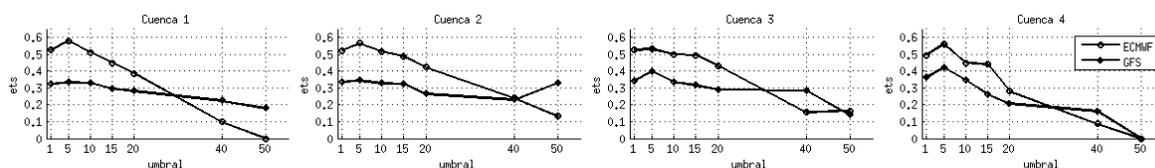


Figura 7. Gráfico de ETS para los pronósticos ECMWF y GFS en función de los umbrales de precipitación para cuatro cuencas.

## 4 CONCLUSIONES

La performance en cuanto a predicción cuantitativa de precipitaciones de los modelos considerados es alentadora a lo efectos de combinarse con modelos hidrológicos y pronosticar valores esperados de aportes para los embalses del país con mayor anticipación y precisión que si no se cuentan con estos pronósticos meteorológicos.

El modelo ECMWF muestra mejor performance en la predicciones de valores esperados de lluvia, mientras que el uso combinado de ambos modelos puede aportar más confiabilidad a la detección de eventos extremos, lo que también es una finalidad de los pronósticos hidrometeorológicos.

En este sentido, la continuidad de este trabajo será analizar el comportamiento de la combinación de diferentes pronósticos y mejorar la misma para las aplicaciones en embalses y modelos hidrológicos.

## 5 AGRADECIMIENTOS

El trabajo se desarrolló en el marco del convenio UTE-FING: “Implementación de un sistema de pronóstico de energía eólica en red” que actualmente está desarrollando pronósticos de precipitaciones.

UTE ha suministrado los datos de la red Hidrometeorológica de la cuenca del río Negro.

## 6 REFERENCIAS

Gevaerd R., Freitas S., 2006 Estimativa operacional da unidade do solo para iniciação de modelos de previsão numérica da atmosfera. Parte I: Descrição da metodologia e validação.

Silveira L., C, Chreties, J. Alonso, G. Cazes Boezio, A. De Vera y M. Crisci, 2018: Sensibilidad de un sistema de Alerta Temprana de Inundaciones a las Características de la Cuenca Hidrografica, memorias del XXVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Buenos Aires, Argentina, Septiembre 2018.

Patrone J., Plat Á., Failache G., 2010. Hidrología operativa aplicando un sistema de gestión integrado. Revista CIER No 57 - Diciembre 2010.

Hewson T., 2019. Use and Verification of ECMWF Products in Member and Co-operating States (2018), disponible en <https://www.ecmwf.int/en/elibrary/18911-use-and-verification-ecmwf-products-member-and-co-operating-states-2018>

Environmental Prediction Center (2003) The GFS Atmospheric Model, NCEP Office Note 442, disponible en <http://www.emc.ncep.noaa.gov/officenotes/newernotes/on442.pdf>

Ruiz J., 2009. Evaluación de diferentes metodologías para la calibración de las estimaciones de precipitación CMORPH sobre Sudamérica. Revista Brasileira de Meteorología, v.24, n.4, 473 - 488, 2009.