

Evaluación del desempeño del pronóstico de precipitación del modelo GFS en la escala subestacional

Nota Técnica SMN 2024-168

Lucia M. Castro¹, Alejandro Godoy¹

¹ *Dirección Nacional de Pronósticos y Servicios para la Sociedad, Servicio Meteorológico Nacional*

Marzo 2024

Información sobre Copyright

Este reporte ha sido producido por empleados del Servicio Meteorológico Nacional con el fin de documentar sus actividades de investigación y desarrollo. El presente trabajo ha tenido cierto nivel de revisión por otros miembros de la institución, pero ninguno de los resultados o juicios expresados aquí presuponen un aval implícito o explícito del Servicio Meteorológico Nacional.

La información aquí presentada puede ser reproducida a condición que la fuente sea adecuadamente citada.

Resumen

En este trabajo se analizan los pronósticos de precipitación a dos semanas del modelo GFS respecto a la base CHIRPS, utilizando métricas de verificación determinísticas y categóricas en cuatro regiones: la República Argentina, las cuencas de los ríos Paraná y Uruguay, la cuenca del río Atuel y la cuenca del río Juramento. En todas las regiones, el desempeño de los pronósticos aumenta en la estación húmeda y disminuye en la estación seca. A su vez, los errores son usualmente máximos en la estación húmeda y son mínimos en la estación seca, cuando mengua la frecuencia de eventos de precipitación. Por otra parte, existe una tendencia a la sobreestimación de la magnitud de la precipitación en gran parte del territorio en todos los trimestres, lo que induce gran cantidad de falsas alarmas que superan a la cantidad de sorpresas. La magnitud de las correlaciones obtenidas son las esperadas para pronósticos subestacionales sin calibrar con plazos de dos semanas en las regiones extratropicales. El desempeño disminuye en trimestres donde los efectos sinópticos tienen un rol fundamental en la modulación de la atmosfera, en vez de los fenómenos de gran escala. Por lo tanto, los defectos observados son ocasionados por la incorrecta representación de fenómenos de menor escala en la dinámica del modelo.

Abstract

This study analyzes two-week precipitation forecasts from the GFS model against CHIRPS database, verifying with both deterministic and categorical metrics in four regions: the Argentinian Republic, Paraná and Uruguay river basin, Atuel river basin and Juramento river basin. In every region, the forecast performance increases during the wet season and decreases in the dry season. At the same time, errors are typically maximum during the wet season and minimum in the dry season, when the precipitation event frequency diminishes. Furthermore, an overestimation tendency exists in most of the territory throughout the year, leading to a significant number of false alarms that surpass the number of surprises. The obtained correlations magnitudes are consistent with two-week uncalibrated subseasonal forecasts in extratropical regions. Performance decreases in seasons where the atmosphere is highly modulated by synoptic phenomena, rather than large scale factors. In consequence, the observed defects occur due to the misrepresentation of small-scale phenomena in the model's dynamics.

Palabras clave: Verificación, Subestacional, Precipitación

Citar como:

Castro, L., y A. Godoy, 2024: Estudio del desempeño del modelo subestacional GFS para pronosticar precipitación a dos semanas. Nota Técnica SMN 2024-168.

1. INTRODUCCION

El pronóstico en la escala subestacional (2 semanas o más) es valioso para el manejo de recursos en distintos sectores, como por ejemplo la producción de energía, la agricultura y el sector hídrico. El análisis de la calidad de los pronósticos numéricos utilizados en diferentes productos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) permite conocer el valor y las limitaciones de los mismos y es fundamental para la toma de decisiones. El objetivo de este trabajo es evaluar los pronósticos semanales de precipitación del modelo GFS para la Argentina y en particular en algunas cuencas hídricas. Para ello, se emplea el marco de verificación subestacional propuesto por Coelho y otros (2019), estudiando los pronósticos retrospectivos y los pronósticos operativos de forma complementaria, aunque los periodos y tamaños de los ensambles sean diferentes. Más aun, el análisis se realiza de forma trimestral para obtener mayor cantidad de pares de datos y, consecuentemente, obtener resultados robustos. Asimismo, considerando que el modelo GFS se utiliza para productos probabilísticos, se analiza el desempeño de los pronósticos de forma dicotómica (si/no) para diferentes umbrales.

2. DATOS

Se analizaron los pronósticos de precipitación acumulada a dos semanas (S2) del modelo GFS (*Global Forecast System*) creado y difundido por *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP). Se calcularon las medias del ensamble GFS (GEFS) de los pronósticos operativos (2016 a 2022) y pronósticos retrospectivos (2000 a 2019) descriptos en la Tabla 1. Los datos del modelo GFS que se utilizan para el desarrollo de productos poseen una resolución espacial de $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$, y fueron inicializados a las 00Z y 12Z. Además, en el cálculo de la precipitación acumulada media semanal se usa la precipitación acumulada cada 6 horas. El presente estudio fue realizado únicamente con la ejecución de las 00Z ya que es la utilizada para la producción de productos operativos.

Tabla 1: Características del modelo *Global Forecast System* (GFS)

Versión	Periodo	Miembros
GFS operativo	Octubre 2016 a Diciembre 2022	2016-2017 20 perturbados + 1 control 2017-2022 30 perturbados + 1 control
GFS retrospectivo	Enero 2000 a Diciembre 2019	4 perturbados + 1 control

Para la validación de los pronósticos se utilizan estimaciones satelitales de precipitación calibradas de *Climate Hazards group Infrared Precipitation with Stations* (CHIRPS). La base de datos CHIRPS crea una climatología de precipitación mensual (CHPclim) desde 1980 a 2019 con medias de estaciones, obtenidas de *Agromet Group of the Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO) y de *Global Historical Climate Network* (GHCN), y también de datos satelitales (microondas e infrarrojo). Luego calcula apartamientos de la climatología (CHIRP) satelitamente con el Índice de Precipitación Global y la Duración de Nubes Frías. Finalmente, incorpora información de pluviómetros (CHIRPS) que son actualizados mensualmente mediante un algoritmo de distancias pesadas (Funk y otros, 2015). Los campos diarios de precipitación acumulada tienen resolución de $0.05^{\circ} \times 0.05^{\circ}$ y se extienden desde $50^{\circ}N$ a $50^{\circ}S$. Por lo tanto, no existe información de CHIRPS en el extremo sur de Argentina. Los datos de CHIRPS fueron promediados a una retícula

equiespaciada de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ para coincidir con la resolución del modelo GFS. El uso de las estimaciones de CHIRPS para la validación permite tener una mejor cobertura espacial de observaciones de precipitación en áreas donde no se tienen datos de estaciones meteorológicas y cubren todas las cuencas hidrológicas que se analizan en este trabajo.

La validación se realizó en cuatro dominios: Argentina, definida entre $75^\circ\text{O}-52^\circ\text{O}$ y $55^\circ\text{S}-20^\circ\text{S}$, en las cuencas del río Paraná y río Uruguay entre $62^\circ\text{W}-45^\circ\text{W}$ y $36^\circ\text{S}-15^\circ\text{S}$, con sus respectivas subcuencas, la cuenca del río Atuel entre $71^\circ\text{O}-66^\circ\text{O}$ y $38^\circ\text{S}-34^\circ\text{S}$ y finalmente la cuenca del río Juramento-Salado entre $60^\circ\text{O}-67^\circ\text{O}$ y $32^\circ\text{S}-24^\circ\text{S}$ (Figura 1) tanto para los pronósticos retrospectivos y operativos, que son de interés para usuarios del sector hídrico.

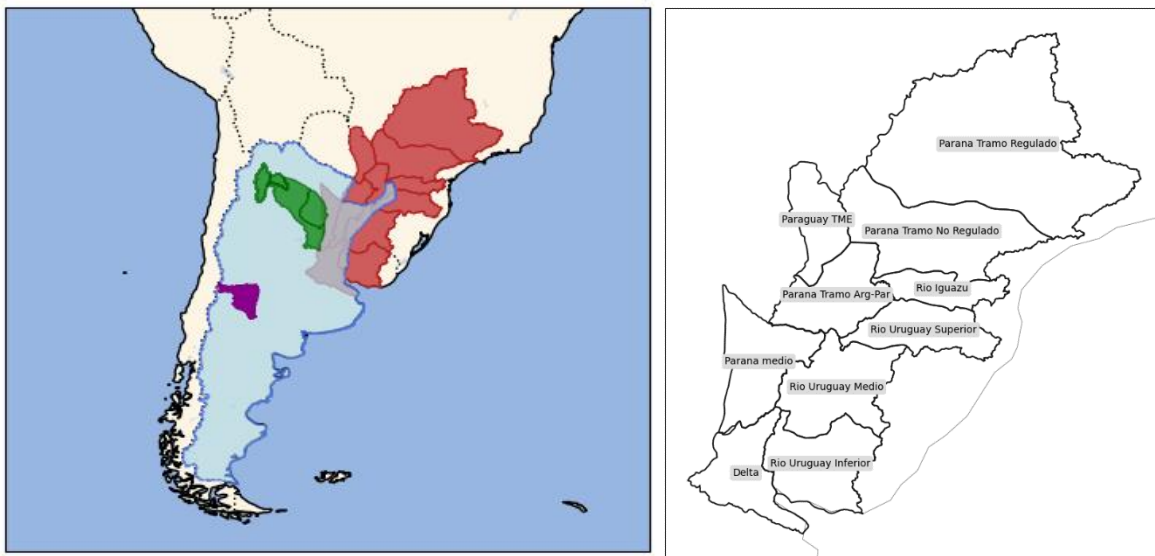


Figura 1: Dominios utilizados en el análisis: En la figura de la izquierda: las cuencas del río Paraná y Uruguay (gris y rojo), Argentina (azul), sin incorporar las regiones al sur de 50°S , la cuenca del río Atuel (violeta) y la cuenca del río Juramento-Salado (verde). En la derecha: Las subcuencas de las cuencas del río Paraná y Uruguay utilizadas, con sus respectivos nombres

3. METODOLOGÍA

La siguiente sección explica los diversos índices de verificación de forma determinística y categórica utilizados para la comparación del pronóstico del GEFS con las estimaciones satelitales de CHIRPS. La precipitación acumulada del GEFS se obtuvo como el promedio de las sumatorias de la precipitación acumulada durante la S2 de cada miembro de ensamble.

3.1 Métricas categóricas

La información de la precipitación acumulada semanal se divide en categorías según si superan o no un umbral, en las observaciones y el pronóstico como lo indica la Tabla 2. En base a la cantidad de puntos de retícula en cada categoría se obtienen la Probabilidad de Detección (POD), el BIAS de frecuencia ($BIAS_f$) y

el Índice de Amenaza Equitativo (ETS, por sus siglas en inglés), explicados detalladamente por de Elía (2021) y cuyas características principales se muestran resumidas en la Tabla 3.

Tabla 2: Tabla de contingencia teórica.

		Observado > Umbral	
		Si	No
Pronosticado > Umbral	Si	Acierto	Falsa Alarma
	No	Sorpresa	Correcto negativo

Tabla 3: Características principales de las métricas dicotómicas utilizadas.

Métrica	Rango	Valor Perfecto
$POD = \frac{aciertos}{aciertos + sorpresas}$	0 a 1	1
$BIAS_f = \frac{aciertos + falsas alarmas}{aciertos + sorpresas}$	0 a infinito	1
$ETS = \frac{aciertos - aciertos_{azar}}{falsas alarmas + sorpresas + aciertos - aciertos_{azar}}$ Siendo $Aciertos_{azar} = \frac{(aciertos + sorpresas)(aciertos + falsas alarmas)}{aciertos + falsas alarmas + sorpresas + aciertos negativos}$	-1/3 a 1	1

3.2 Métricas determinísticas

Siguiendo la metodología propuesta por Coelho y otros (2019) se obtuvieron diversas métricas para evaluar la afinidad entre el pronóstico y la observación de la precipitación acumulada en la S2 de pronóstico, tales como el Error Medio (BIAS, por sus siglas en inglés), la Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE), el Coeficiente de Correlación de Anomalías (ACC) y la tasa entre el desvío estándar pronosticado y observado.

El error medio se obtiene como el promedio de la diferencia entre la variable pronosticada y la observada de manera total, no de las anomalías, e indica si el modelo tiende a sobreestimar (BIAS positivo) o subestimar (BIAS negativo) la variable pronosticada.

La RMSE es el promedio de las diferencias cuadradas entre las anomalías de la variable pronosticada y observada. Cuanto menor sea la RMSE, mejor será la precisión del pronóstico. Permite conocer el error incondicional ya que evita las compensaciones de errores con diferentes signos.

El ACC estudia la asociación lineal entre las anomalías pronosticadas y observadas para cada punto de la región. Como la distribución de la precipitación no es una variable normal se utiliza la transformación rankeada inversamente normal (RIN, por sus siglas en inglés) para obtener la correlación y el intervalo de 95% de confianza de forma robusta en cada punto de la región elegida (Bishara y Hittner, 2016). El intervalo de confianza es promediado espacialmente, pesado por el coseno de la latitud al ser una retícula equiespaciada, para obtener valores representativos de la región.

La tasa entre los desvíos estándar de las anomalías indica el error de amplitud. Cuando la tasa es mayor (menor) a 1 la variabilidad pronosticada es mayor (menor) a la observada.

3.2.2 Cálculo de anomalías

El valor climatológico de la precipitación acumulada semanal se obtuvo con la climatología diaria, utilizando una suma móvil de 7 días. Para evitar perder información se creó una serie periódica de manera que la última semana de diciembre acumule valores hasta enero, obteniéndose 365 semanas. Los días 29 de febrero no fueron evaluados al no ser suficientes para obtener resultados robustos. Las anomalías se obtuvieron como la resta entre el valor pronosticado y el climatológico para cada semana.

4. RESULTADOS

En la siguiente sección se presenta los resultados de la verificación de los pronósticos retrospectivos y operativos del modelo GEFS en los tres dominios propuestos.

4.1 Argentina

4.1.1 Métricas Categóricas

En primer lugar, se obtuvieron las métricas categóricas (POD, $BIAS_f$, ETS) en todo el país de forma mensual para los umbrales de precipitación acumulada semanal mayor a 5mm y 30mm, tanto para los pronósticos operativos como para los retrospectivos. Los umbrales fueron elegidos para luego comparar fácilmente con el desempeño de los pronósticos subestaciones de la técnica análogos (Aldeco y otros, 2022) del SMN, que no se muestran en este trabajo. En los pronósticos operativos de precipitación acumulada mayor a 5mm (Figura 2.a) se observa que la POD es mayor a 0.75 durante todo el año, indicando que más del 75% de los eventos de PP acumulada son pronosticados en Argentina. Entre los meses de octubre a marzo la POD es mayor (0.9) que en los meses de mayo a septiembre (0.75) siguiendo el ciclo anual de precipitación en el noreste de Argentina. El BIAS es mayor a 1 en todos los meses y de magnitud 2 en la mayoría de ellos, es decir, la cantidad de casos pronosticados es el doble que los observados y hasta el triple en septiembre. Como el ETS tiene un valor del 0.2 todo el año el pronóstico es mejor que un pronóstico al azar, siendo mayor en los meses de enero, febrero y diciembre. Cuando el umbral de PP semanal es de 30mm (Figura 2.c) se observa una disminución de POD hasta 0.5, en promedio, siendo máximo en enero (0.7). Además, la POD aumenta levemente en junio, posiblemente debido a las fuertes precipitaciones que ocurren en la cordillera de los Andes. El $BIAS_f$, sufre un aumento respecto al umbral anterior, oscilando entre 2 y 4.5, lo que indica gran cantidad de falsas alarmas en Argentina. Por otra parte, el ETS es similar en ambos umbrales.

Los pronósticos retrospectivos de precipitación (Figura 2.b y 2.c) presentan un comportamiento similar a los pronósticos operativos. Cuando se considera el umbral de 5mm (2.b) la POD es de 0.8 en la mayoría del año, con una disminución durante los meses de mayo hasta agosto que alcanza valores de 0.6, que es inferior a lo observado en el pronóstico operativo (2.a). El ETS es semejante en ambos tipos de pronóstico del GFS, sin diferencias apreciables para ambos umbrales. El $BIAS_f$ es mayor a 1 todo el año, con una media de 1.5, siendo máximo en septiembre. En cambio, cuando el umbral mayor (2.d) el $BIAS_f$ supera el 2.5 de media

anual. La POD del pronóstico retrospectivo sufre una disminución de la magnitud de forma análoga al GFS operativo. Por lo tanto, como es de esperar, disminuye el desempeño de los pronósticos a S2 al aumentar el umbral. A su vez, se observa mayor (menor) desempeño en los meses de verano (invierno) posiblemente asociado a la temporada húmeda (seca) del noreste del país. Esta modulación se produce gracias a la gran extensión de la región, mientras que el ciclo estacional opuesto en la cordillera sur podría verse opacado al ser un área estrecha respecto al resto del país. La diferencia más importante entre el GFS operativo y retrospectivo se percibe en el $BIAS_f$, el cual es menor en el segundo caso posiblemente por el suavizado producido al considerar más años (7 años contra 20). Aunque, en ambos umbrales y modos de pronósticos, el máximo de $BIAS_f$ se produce durante septiembre.

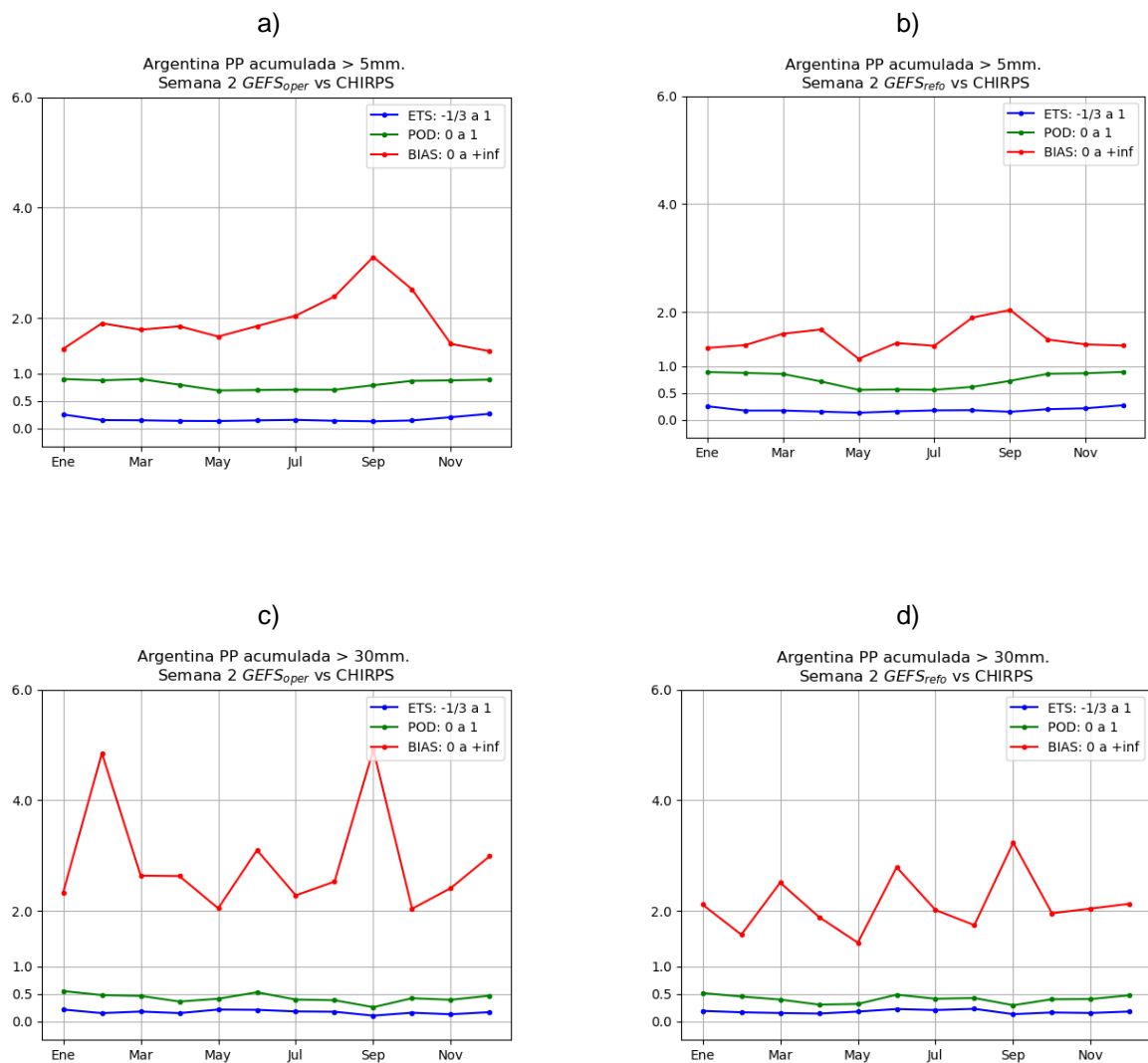
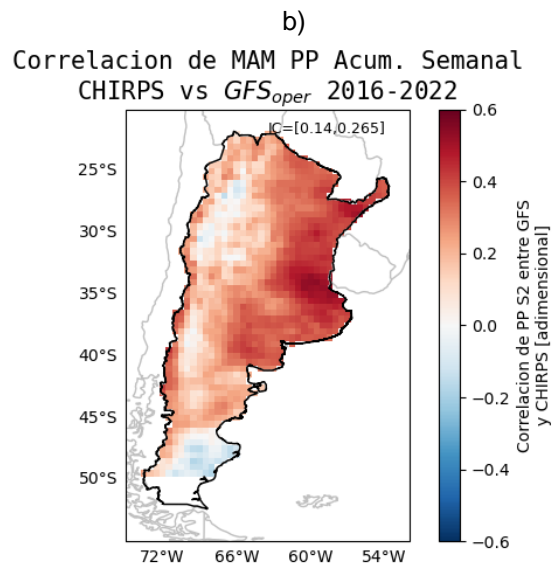
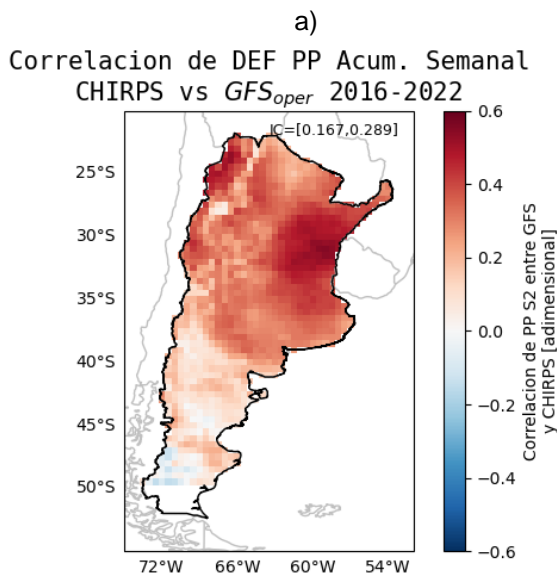


Figura 2: Métricas categóricas. La Probabilidad de Detección (POD) en verde, ETS en azul y $BIAS_f$ en rojo calculadas mensualmente para Argentina para dos umbrales de precipitación semanal. En la primera columna se muestran los resultados obtenidos para los pronósticos operativos (a y c) y en la segunda columna para los pronósticos retrospectivos (b y d).

4.1.2 Métricas Determinísticas

Las correlaciones entre la anomalía de PP acumulada pronosticada y observada se muestran en la Figura 3 divididas de forma trimestral. Los mayores valores de correlación, del 60%, se observan en verano en el norte, durante la temporada húmeda del litoral argentino. Este patrón coincide con el resultado obtenido por De Andrade (2018) en los modelos del EMCWF, UKMO, JMA, KMA y ECCC para la precipitación entre los meses de noviembre a marzo. En gran parte del país la correlación desciende gradualmente hacia el invierno, donde el máximo de ACC es del 50% en la cordillera sur, y menor en el resto de Argentina. Al sur de 45°S la correlación es negativa todo el año, con mínimo de correlación negativa de 20% en JJA. Al mismo tiempo, se observan correlaciones negativas en Jujuy, Salta y Tucumán en MAM y JJA mientras que en el resto de los trimestres la correlación es positiva pero baja, del 20%.

Por lo tanto, la correlación de PP acumulada a S2 en Argentina es máxima en el norte, en verano, y en la cordillera sur, en invierno. La correlación disminuye en la temporada seca de estas regiones, es decir, en DEF y JJA respectivamente. La Patagonia presenta valores de ACC negativos en todo el año, especialmente en invierno. Esto puede estar causado por dos factores: la mala representación de los modelos de los procesos en zonas extratropicales, o también por las pocas estaciones de la región utilizadas para desarrollar la base CHIRPS. En particular, en la región central de los Andes argentinos en promedio solo 8 estaciones son utilizadas para calibrar CHIRPS entre 2000 y 2016 (Rivera y otros, 2018).



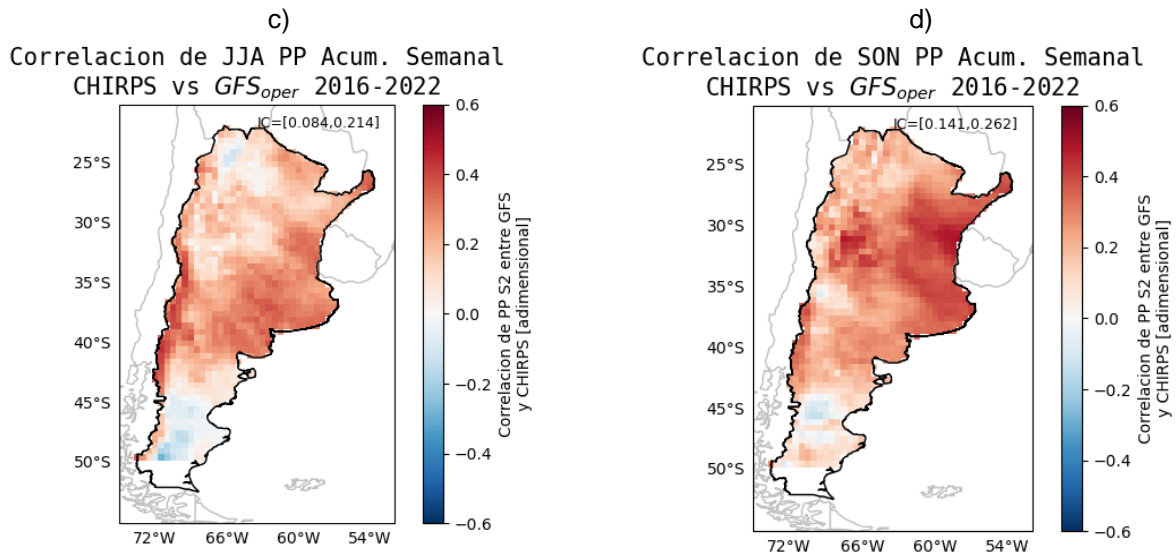


Figura 3: Coeficiente de Correlación de Anomalías (ACC) en Argentina obtenido trimestralmente para la precipitación acumulada a dos semanas entre el GFS operativo y CHIRPS. El Intervalo de 95% de Confianza (IC) se muestra en la esquina superior derecha.

En la Figura 4 se presenta la RMSE de PP acumulada a S2 entre el modelo GEFS y CHIRPS promediado trimestralmente. Se observa que los errores de mayor modulo se ubican en el centro y norte de Argentina, mientras que al sur de 40°S la RMSE es similar en todos los trimestres. La RMSE es máxima en el litoral durante MAM seguido por DEF. En particular, en DEF, el error es máximo en el noroeste argentino en el mismo lugar donde la correlación es mayor en este trimestre. Durante JJA, la RMSE es mínima respecto al resto de los trimestres, alcanzando valores de 10mm en gran parte del país excepto en el oeste de Patagonia, donde alcanza valores de 20mm.

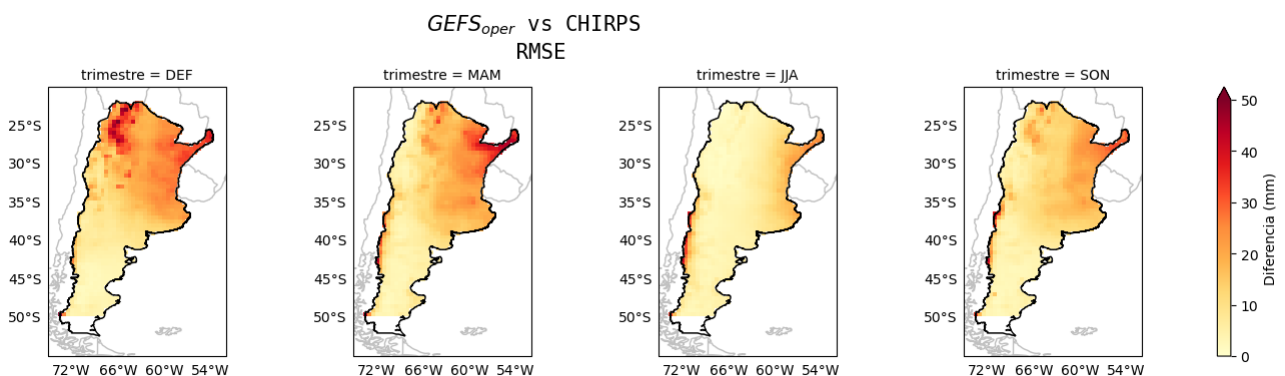


Figura 4: La raíz del error cuadrático medio (RMSE) entre el ensamble GEFS y CHIRPS de anomalías de precipitación acumulada a dos semanas (mm/semana) en Argentina promediada trimestralmente.

En la Figura 5 se presenta el BIAS de PP acumulada a 2 semanas entre el modelo GEFS y CHIRPS promediado trimestralmente. De forma similar a la RMSE, se observa que los errores de mayor modulo se ubican en el centro y norte de Argentina, mientras que al sur de 40°S el BIAS es similar en todos los trimestres.

En la mayoría de la región existe sobrestimación de la precipitación, maximizando en el noroeste de Argentina especialmente en DEF, alcanzando valores de más de 20mm. En el noreste argentino se observan BIAS positivos en JJA y SON, y negativos en DEF y MAM. En particular durante MAM, el litoral tiene subestimación de 20mm. En esta región, durante DEF, el BIAS es casi nulo pero la RMSE es de 40mm. En la cordillera central, entre 35°S y 40°S existe subestimación de precipitación, de 10mm semanalmente en todos los trimestres, siendo mínimo en SON. En cambio, la cordillera al sur de 45°S, presenta BIAS positivos que maximizan durante JJA.

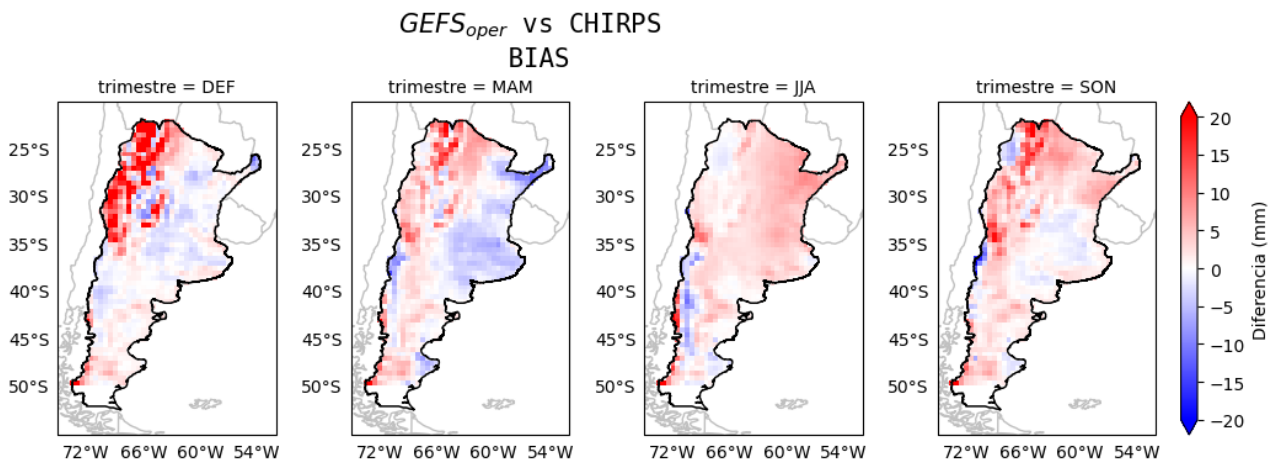


Figura 5: Error medio (BIAS) entre el ensamble GEFS y CHIRPS de precipitación acumulada a dos semanas (mm/semana) en Argentina promediada trimestralmente.

En resumen, la relación lineal que existe entre la precipitación pronosticada y la estimada aumenta durante los trimestres húmedos de las diferentes regiones, y disminuyen en las temporadas secas, siendo mayor en el centro y norte de Argentina. Aunque la correlación en Patagonia es negativa, esta región tiene los menores errores del país con sobreestimaciones que no exceden los 5mm. En el resto de Argentina los errores aumentan durante la temporada húmeda regional, como es el caso del noroeste argentino que en DEF la sobreestimación supera los 20mm. Por otro lado, en el litoral hay sobrestimación de precipitación durante JJA y SON, de alrededor de 10mm, y subestimación en DEF y MAM alcanzando los 20mm. La subestimación de precipitación puede estar relacionada a la pobre representación de sistemas convectivos de mesoescala que dominan la circulación entre octubre a abril (Barros y otros 2006).

4.2 Cuencas de los ríos Uruguay y Paraná

En la siguiente sección se analiza el desempeño del GFS en las cuencas del río Uruguay y el río Paraná con sus respectivas subcuencas, con el fin de conocer con mayor detalle el desempeño del modelo GFS. Como el análisis se realiza para cada región, se promedian los valores categóricos en cada una para obtener un valor representativo.

4.2.1 Métricas Categóricas

En la Figura 6 se presenta el $BIAS_f$ de precipitación acumulada a S2 en las cuencas de los ríos Uruguay y Paraná para el umbral de 5mm y 30mm. Para precipitaciones mayores a 5mm (Figura 6, arriba) se observa que, al sur de 27°S, la cuenca presenta $BIAS_f$ similar en todos los trimestres, oscilando alrededor de un valor de 3 y siendo máximo durante JJA. En cambio, el norte la cuenca presenta mayor variabilidad, con mínimo de $BIAS_f$ en DEF, entre 1 y 2, y máximo en JJA, de hasta 6 en la cuenca regulada. Por otro lado, para precipitaciones acumuladas mayores a 30mm (Figura 6, abajo), los valores de $BIAS_f$ son homogéneos en la cuenca y de menor magnitud al umbral anterior. Por lo tanto, existe una disminución de las falsas alarmas al considerar precipitaciones fuertes, aunque en MAM el $BIAS_f$ es máximo, alcanzando un valor de 3.65. En este trimestre la precipitación en el noreste de la cuenca, donde es máximo el error, es de magnitud similar a la precipitación en JJA, es decir, en la estación seca. De manera que dicha sobrestimación puede estar explicada por la mala representación de la intensidad y ubicación de los fenómenos de mesoescala en la cuenca en temporadas de transición.

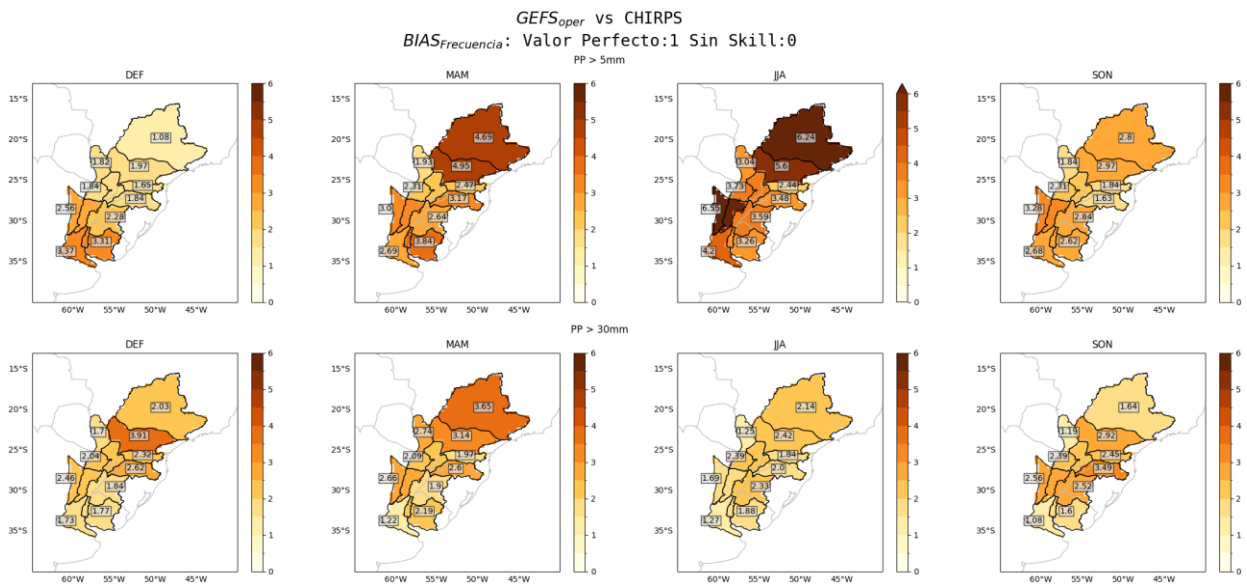


Figura 6: BIAS de frecuencia entre el ensamble GEFS y CHIRPS de precipitación acumulada a dos semanas en las cuencas de los ríos Paraná y Uruguay promediado trimestralmente para precipitaciones por encima de 5mm (arriba) y 30mm (abajo).

En la Figura 7 Se exhibe la POD de precipitación semanal acumulada obtenida trimestralmente en las cuencas de Paraná y Uruguay para los dos umbrales elegidos. Al considerar el umbral de 5mm (Figura 7, arriba), la POD es alta, cercanas al valor perfecto 1 en todos los trimestres excepto en el norte de la cuenca en JJA. En la estación seca la fracción de aciertos disminuye considerablemente, indicando aumento de sorpresas al norte de 26°S. Sin embargo, con un umbral superior (Figura 7, abajo) la POD disminuye considerablemente, en especial al sur de 32°S, donde es menor a 0.5 todo el año. El resto de la región presenta mayores variaciones entre trimestres, con máxima probabilidad de detección en DEF y SON, y mínima en JJA.

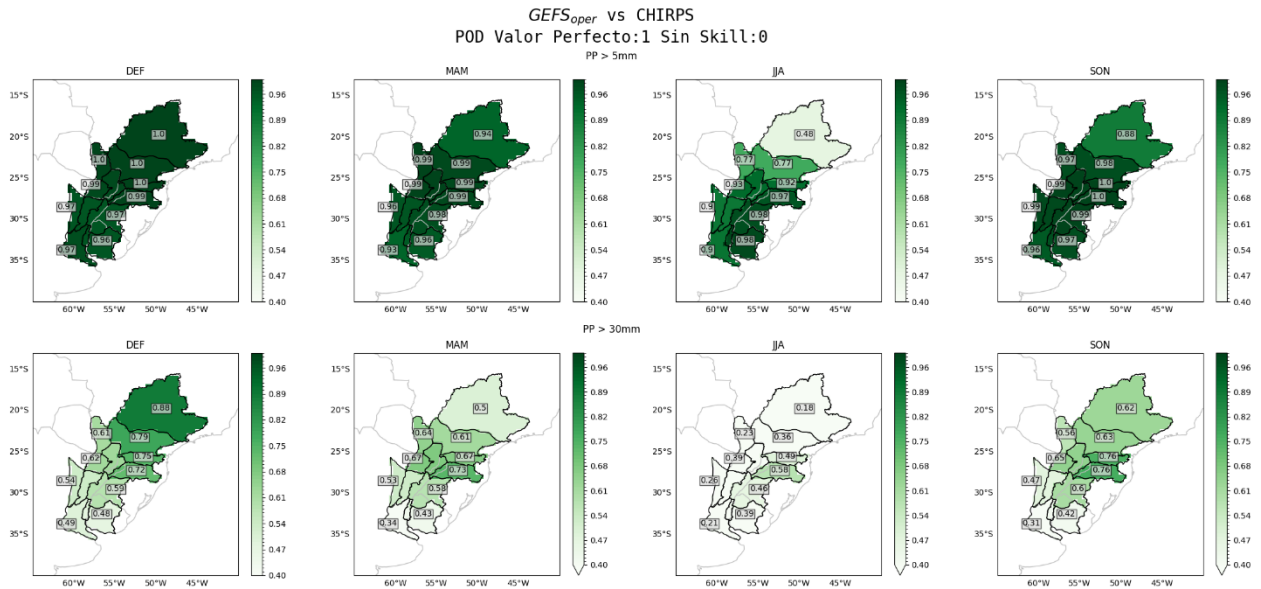


Figura 7: POD de frecuencia entre el ensamble GEFS y CHIRPS de precipitación acumulada a dos semanas en las cuencas de los ríos Paraná y Uruguay promediado trimestralmente para precipitaciones por encima de 5mm (arriba) y 30mm (abajo).

En la Figura 8 se presenta el ETS de precipitación acumulada a dos semanas, calculada trimestralmente. En ambos umbrales el ETS es positivo en gran parte de la cuenca todo el año, pero cercano a cero. Esto indica que la proporción de coincidencia entre eventos de precipitación pronosticados y observados es mayor a 0, aun quitando los aciertos que pueden ocurrir al azar. En el norte de la cuenca, en el tramo Paraná regulado, es posible observar un aumento de ETS durante JJA, aunque la POD sea mínima en esa región. Es decir, se muestra mejor desempeño del pronóstico, aunque la detección disminuye en el mismo trimestre. Dicha particularidad sucede por la disminución de eventos de lluvia en JJA, lo que produce una cantidad alta de aciertos negativos a la vez que disminuyen los aciertos, las sorpresas y las fallas. En consecuencia, los aciertos al azar son pequeños respecto a otros meses y el ETS total aumenta (Tabla 3).

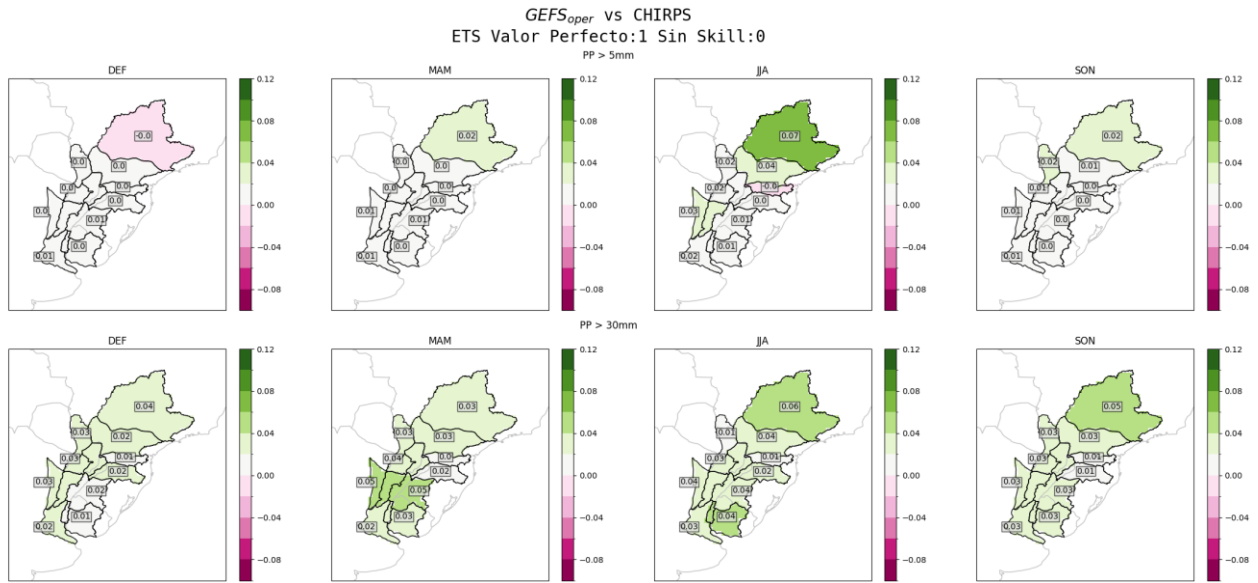


Figura 8: ETS de frecuencia entre el ensamble GEFS y CHIRPS de precipitación acumulada a dos semanas en las cuencas de los ríos Paraná y Uruguay promediado trimestralmente para precipitaciones por encima de 5mm (arriba) y 30mm (abajo).

En definitiva, las métricas dicotómicas para la precipitación a dos semanas en la cuenca del Plata muestran un buen desempeño del modelo GFS, especialmente para umbrales bajos y en verano, con alta tasa de aciertos. A su vez, existe una tendencia a la sobreestimación durante todo el año que se intensifica en invierno, es decir, en la estación seca. Sumado a esto, en JJA en el norte de la cuenca aumentan la cantidad de sorpresas. Como en invierno la intensidad de la lluvia disminuye, existen pocos eventos de lluvia mayor a 30mm para realizar la validación.

4.2.2 Métricas Determinísticas

El BIAS de precipitación acumulada entre GEFS y CHIRPS se presenta en la Figura 9, para cada trimestre, el cual indica la magnitud de los errores del pronóstico, y no la tasa de los errores como el $BIAS_f$. En términos generales, se observa sobreestimación de precipitación al norte de 25°S durante todo el año, siendo máxima en DEF, de 20mm, y mínima en JJA, de 5mm. En el sur de la cuenca el BIAS es negativo durante DEF y MAM, donde alcanza mínimo de 15 mm, mientras que es positivo en JJA y SON, de 10mm acumulados en una semana.

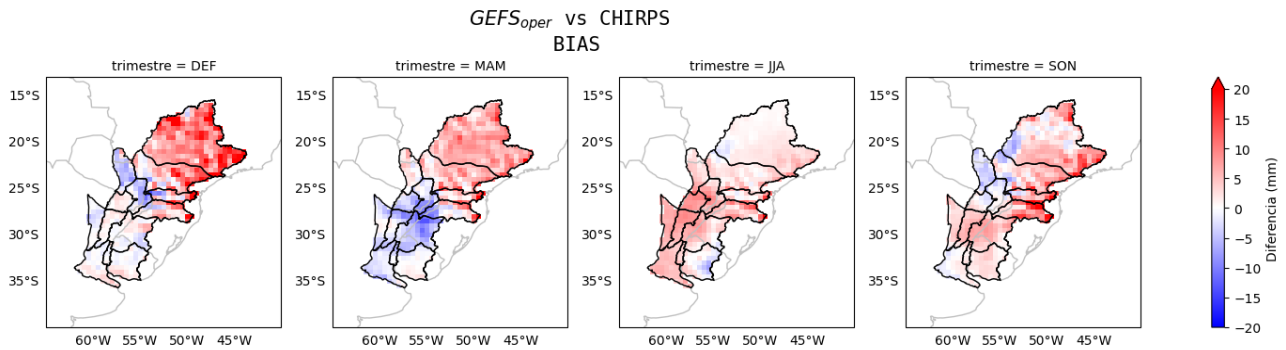


Figura 9: Error medio (BIAS) entre el ensamble GEFS y CHIRPS de precipitación acumulada a dos semanas (mm/semana) en las cuencas de los ríos Paraná y Uruguay promediada trimestralmente.

El RMSE de precipitación acumulada entre GEFS y CHIRPS se presenta en la Figura 10, para cada trimestre. El error es máximo durante DEF en toda la cuenca, es decir, durante la temporada húmeda, de aproximadamente 20mm. En ese trimestre, el norte de la cuenca presenta los mayores valores de error asociados a la sobreestimación de precipitación en esa región. El sur de la cuenca también presenta RMSE altos, aunque el BIAS allí (Figura 9) es de 5mm, lo que indica gran variabilidad del error durante DEF en esa zona. En MAM el RMSE es máximo en el centro de la cuenca, mientras que el BIAS muestra gran subestimación de precipitación. Lo contrario ocurre en SON, donde el RMSE es mayor donde la sobreestimación es máxima. Esto puede estar explicado a la mala representación de procesos dinámicos del GEFS durante las temporadas de transición entre seca y húmeda. Finalmente, JJA presenta el mínimo de RMSE, de 10mm en la cuenca regulada y de 15mm en el resto de las cuencas.

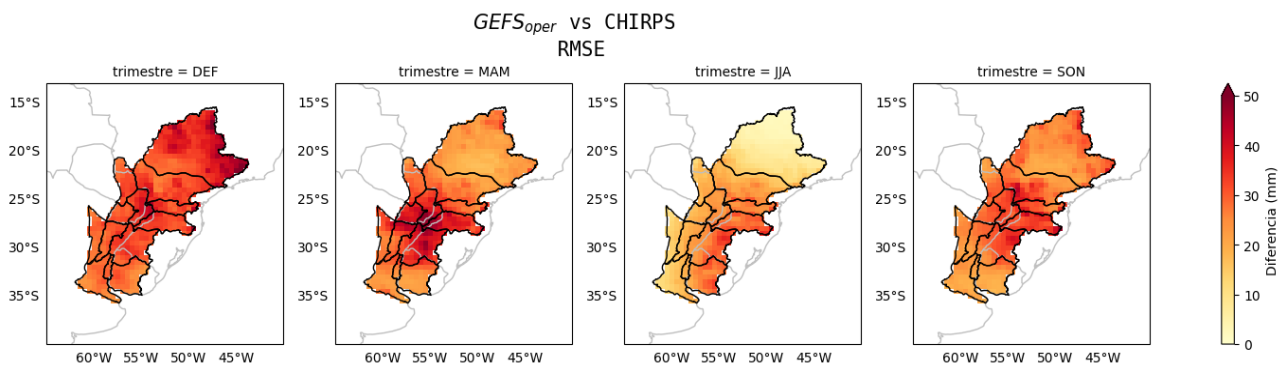


Figura 10: La raíz del error cuadrático medio (RMSE) entre el ensamble GEFS y CHIRPS de anomalías de precipitación acumulada a dos semanas (mm/semana) en las cuencas de los ríos Paraná y Uruguay promediada trimestralmente.

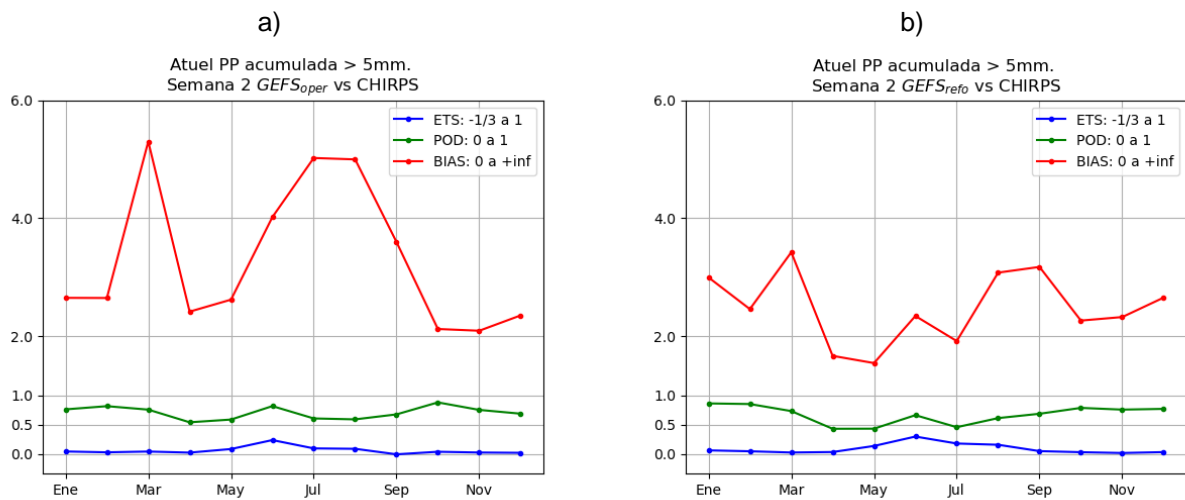
4.3 Cuenca Atuel

En esta sección es estudiado el desempeño de los pronósticos operativos y retrospectivos de precipitación semanal en la cuenca del río Atuel ubicada en el centro de Argentina.

4.3.1 Métricas Categóricas

Enfocando el análisis a la cuenca del río Atuel, se observa, en términos generales, menor desempeño que en las cuencas de los ríos Paraná y Uruguay. Este resultado es de esperar ya que las métricas empeoran hacia el sur del país (ver sección 4.1.2).

En primera instancia, se observa que para precipitaciones acumuladas mayores a 5mm (Figura 11.a) la POD es de 0.7 durante todo el año en la cuenca, con dos mínimos marcados de 0.5 en abril y agosto. En cambio, durante junio y octubre esta métrica aumenta hasta 0.85. El $BIAS_f$ es superior a 2 en todos los meses y alcanza máximos relativos, de valor 5, durante marzo, julio y agosto. Una diferencia notable respecto al resto de las regiones es que el ETS es positivo pero casi nulo durante todo el año aumentando en junio hasta 0.3 y disminuyendo hasta cero en septiembre. Al estudiar un umbral mayor (Figura 11.c y 11.d) se observa que todas las métricas disminuyen, llegando hasta cero en algunos meses (Figura 11.c). Es importante notar que en la cuenca del río Atuel las precipitaciones acumuladas superiores a 30 mm en una semana son escasas, ya que en promedio la precipitación diaria no supera los 3mm (Figura 12). Por lo tanto, la cantidad de casos utilizados para el análisis no es lo suficientemente grande para resultados robustos. En los pronósticos retrospectivos (Figura 11.b y 11.d) las métricas mensuales son similares excepto que disminuye el $BIAS_f$ medio anual a aproximadamente 2.5, para precipitaciones mayores a 5mm.



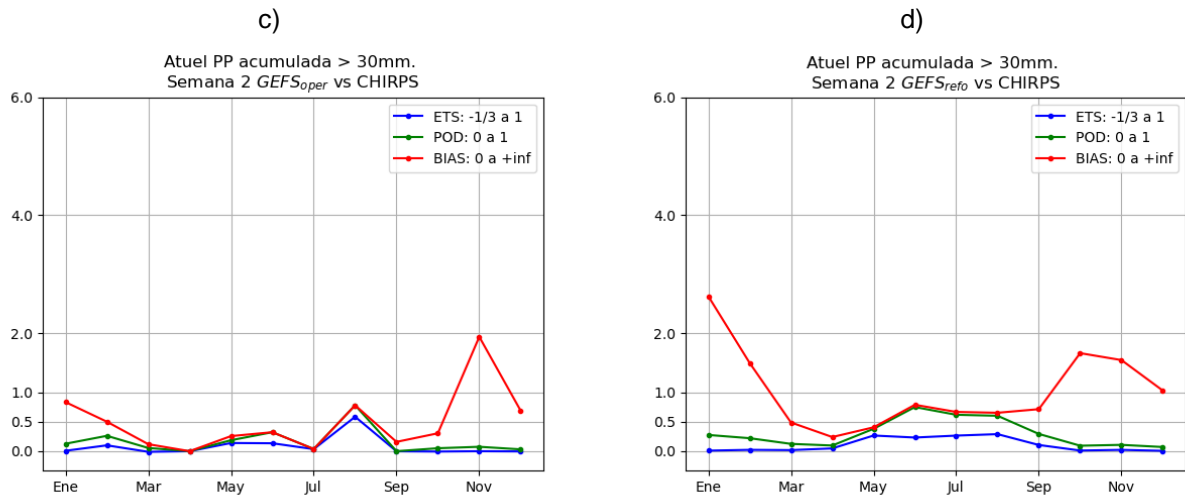


Figura 11: Métricas categóricas. La Probabilidad de Detección (POD) en verde, ETS en azul y $BIAS_f$ en rojo calculadas mensualmente en la cuenca del río Atuel para dos umbrales de precipitación semanal. En la primera columna se muestran los resultados obtenidos para los pronósticos operativos (a y c) y en la segunda columna para los pronósticos retrospectivos (b y d).

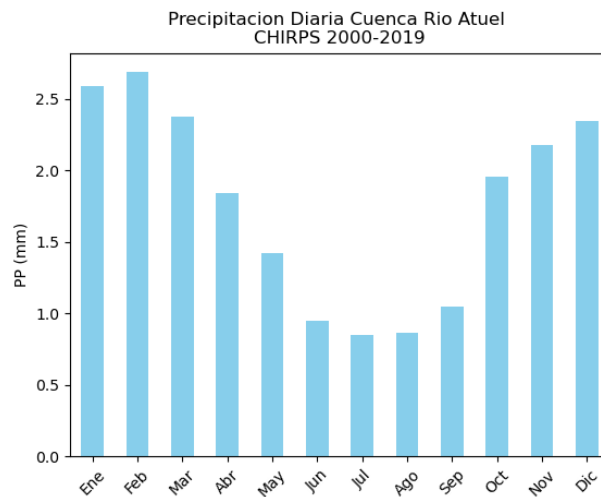


Figura 12: Precipitación diaria (mm) promediada mensualmente en la cuenca del río Atuel.

4.3.2 Métricas Determinísticas

Las correlaciones entre la anomalía de PP acumulada pronosticada y observada en la cuenca del río Atuel se muestran en la Figura 13 divididas de forma trimestral. Se observa que el ACC es máximo en DEF, de 0.4 en el este de la cuenca, y mínimo en SON, alcanzando valores nulos en el oeste de la cuenca. Durante JJA la correlación es menor a 0.3 en julio y agosto

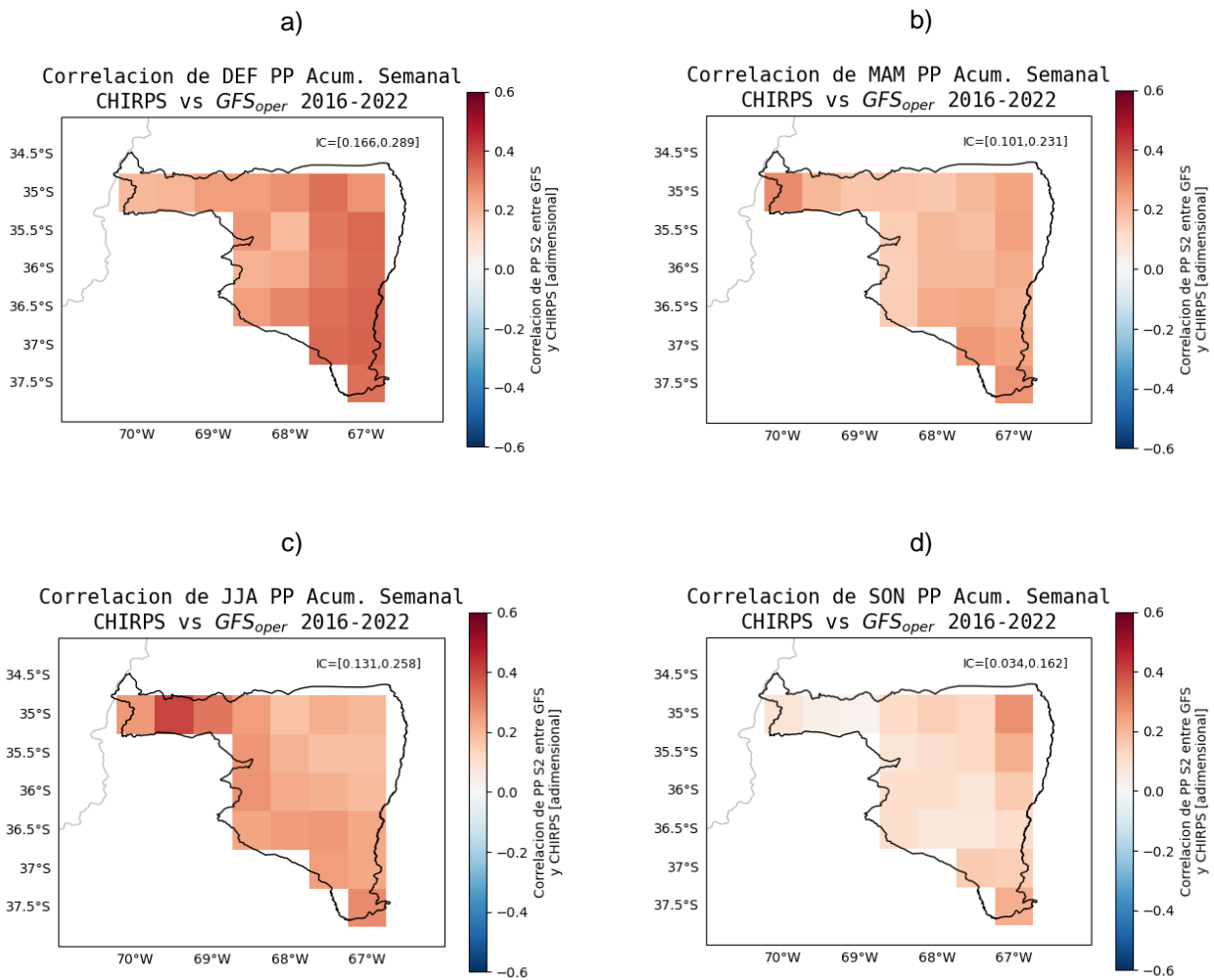


Figura 13: Coeficiente de Correlación de Anomalías (ACC) en la cuenca del río Atuel obtenido trimestralmente para la precipitación acumulada a dos semanas entre el GFS operativo y CHIRPS. El Intervalo de 95% de Confianza (IC) se muestra en la esquina superior derecha.

La RMSE de la cuenca del río Atuel promediada trimestralmente se muestra en la Figura 14 donde no se perciben grandes variaciones estacionales. La RMSE oscila alrededor de 10mm en el centro de la cuenca y 15mm en el extremo noroeste. Durante JJA hay una leve disminución de RMSE en el centro de la cuenca, de menos de 5mm, mientras que en DEF existe un aumento de 5mm en 36°S, 68.9°O.

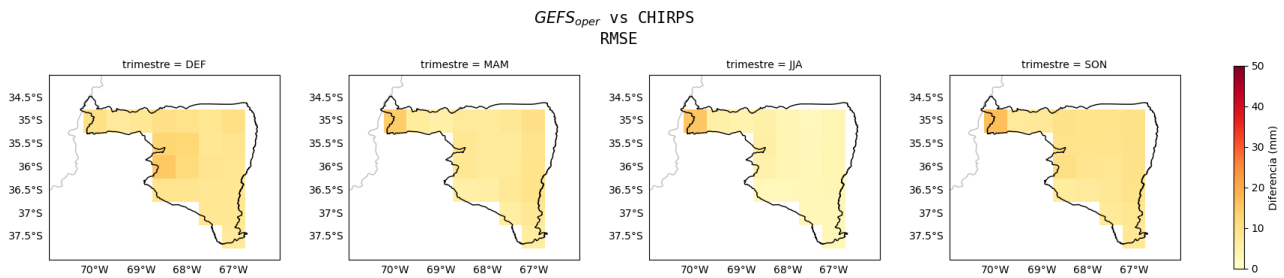


Figura 14: La raíz del error cuadrático medio (RMSE) entre el ensamble GEFS y CHIRPS de anomalías de precipitación acumulada a dos semanas (mm/semana) en la cuenca del río Atuel promediada trimestralmente.

La Figura 15 presenta el BIAS en la cuenca del río Atuel, promediado trimestralmente. En gran parte de la cuenca existe sobreestimación de la precipitación de entre 5mm y 10mm, excepto en el extremo noroeste, donde hay subestimación de 5mm. Aunque las variaciones trimestrales son leves, se observa que en DEF y SON el BIAS es máximo en el centro la cuenca alcanzando 15mm acumulados en una semana.

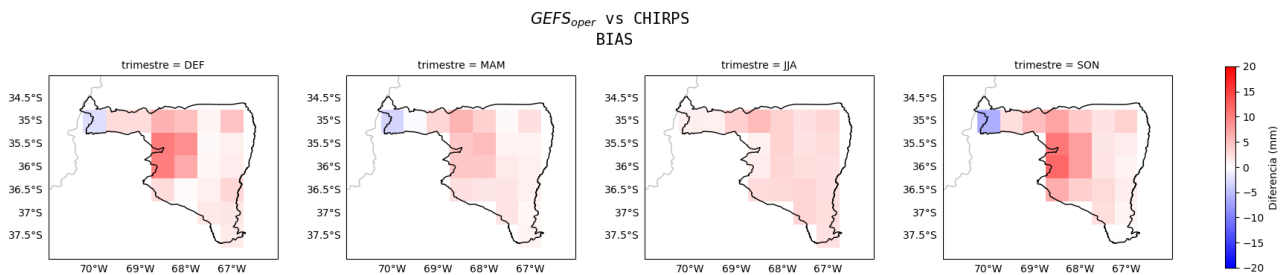


Figura 15: error medio (BIAS) entre el ensamble GEFS y CHIRPS de anomalías de precipitación acumulada a dos semanas (mm/semana) en la cuenca del río Atuel promediado trimestralmente.

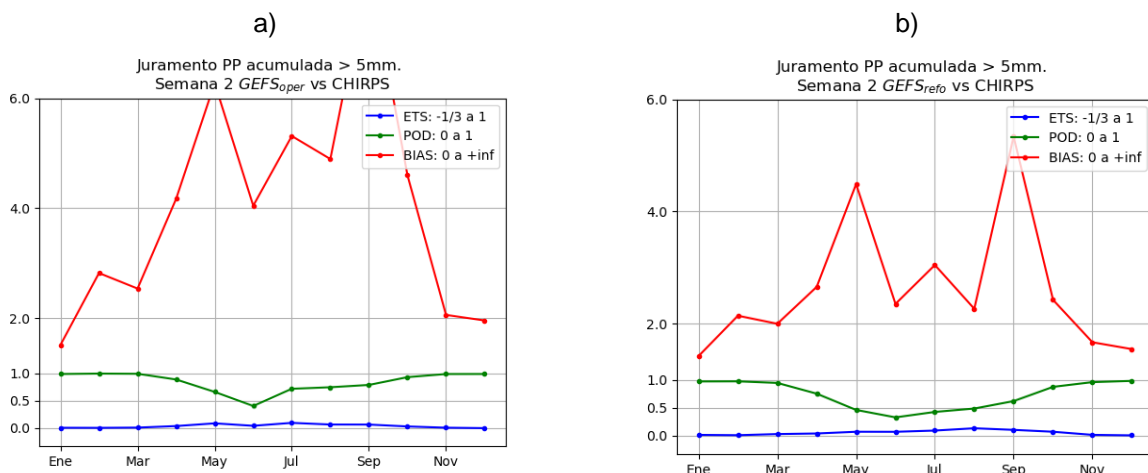
En conclusión, en la cuenca del río Atuel el desempeño del pronóstico es inferior comparado con territorios en latitudes menores. La precipitación es sobreestimada todo el año en la región, con mayores errores en DEF y SON en el centro de la cuenca, pero pocas variaciones en el resto de los trimestres. La relación lineal entre el pronóstico del GFS y CHIRPS es máxima, aunque baja de 40%, en DEF en el este de la cuenca y mínima en SON, alcanzando valores prácticamente nulos de ACC.

4.4 Cuenca Juramento-Salado

En la siguiente sección se analizan las métricas categóricas y determinísticas obtenidas en la cuenca de los ríos Juramento y Salado. Se presentan los resultados para los pronósticos operativos y retrospectivos de dos umbrales previamente definidos.

4.4.1 Métricas Categóricas

Las métricas categóricas calculadas para los pronósticos a S2 en la cuenca Juramento-Salado se muestran en la Figura 16. En esta región, la POD de los pronósticos de precipitación acumulada mayor a 5mm (Figura 16.a) exhibe valores cercanos al valor perfecto durante gran parte del año, disminuyendo considerablemente, hasta 0.5, durante mayo, junio y julio. En esos meses el ETS aumenta hasta 0.1 desde valores nulos para luego volver a descender en octubre. El $BIAS_f$ es mayor a 1 durante todo el año, indicando que las falsas alarmas superan a las sorpresas, especialmente entre los meses de mayo a septiembre donde supera el valor 6. En los pronósticos retrospectivos (Figura 16.b) se observa el mismo patrón que en el pronóstico operativo, con máximos y mínimos de las métricas en los mismos meses, con diferencias en las magnitudes en POD y $BIAS_f$. Durante mayo a septiembre, la POD disminuye desde 1 hasta 0.4 en junio, es decir, la detección decrece más en el pronóstico retrospectivo que en el operativo. Por otra parte, el $BIAS_f$ es alto durante mayo a septiembre, de más de 4 en mayo y en septiembre, pero no sobrepasa el umbral de 6 como si lo hace el pronóstico operativo. Los pronósticos de precipitación acumulada mayor a 30mm (Figuras 16.c y 16.d) muestran mejor desempeño desde octubre a marzo, con POD mayor a 0.7 y ETS positivas, aunque cercanas a cero. Sin embargo, durante los meses de invierno las métricas decrecen hasta valores nulos por la falta de eventos de lluvia acumulada mayor a 30mm. Por lo tanto, los resultados obtenidos en esos meses, de pronósticos operativos y retrospectivos no son confiables.



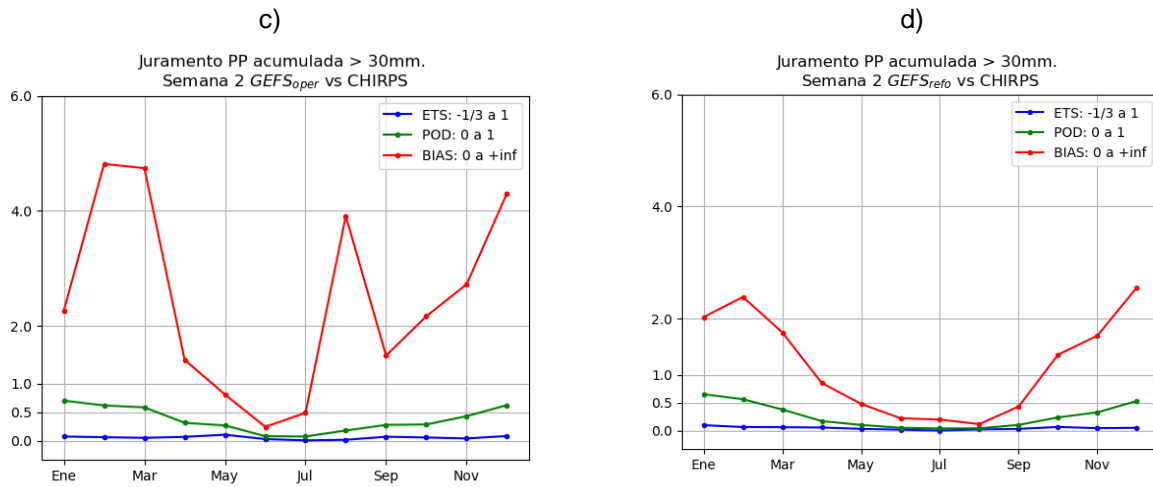


Figura 16: Métricas categóricas. La Probabilidad de Detección (POD) en verde, ETS en azul y $BIAS_f$ en rojo calculadas mensualmente para la cuenca Juramento-Salado para dos umbrales de precipitación semanal. En la primera columna se muestran los resultados obtenidos para los pronósticos operativos (a y c) y en la segunda columna para los pronósticos retrospectivos (b y d).

4.4.2 Métricas Determinísticas

En la Figura 17 se presenta el coeficiente de correlación trimestral en la cuenca Juramento-Salado entre la precipitación del GFS operativo y de CHIRPS, el cual oscila entre 15% y 30% durante el año. De forma similar a otras regiones, la correlación es mayor en la cuenca en DEF y menor en JJA, es decir, en las estaciones húmedas y secas, respectivamente. En todos los trimestres el sudeste de la cuenca presenta correlaciones superiores al resto del territorio, de entre 20% a 30%. En cambio, en JJA y MAM el noroeste de la cuenca llega a presentar valores de correlación negativos en los pronósticos de precipitación a dos semanas.

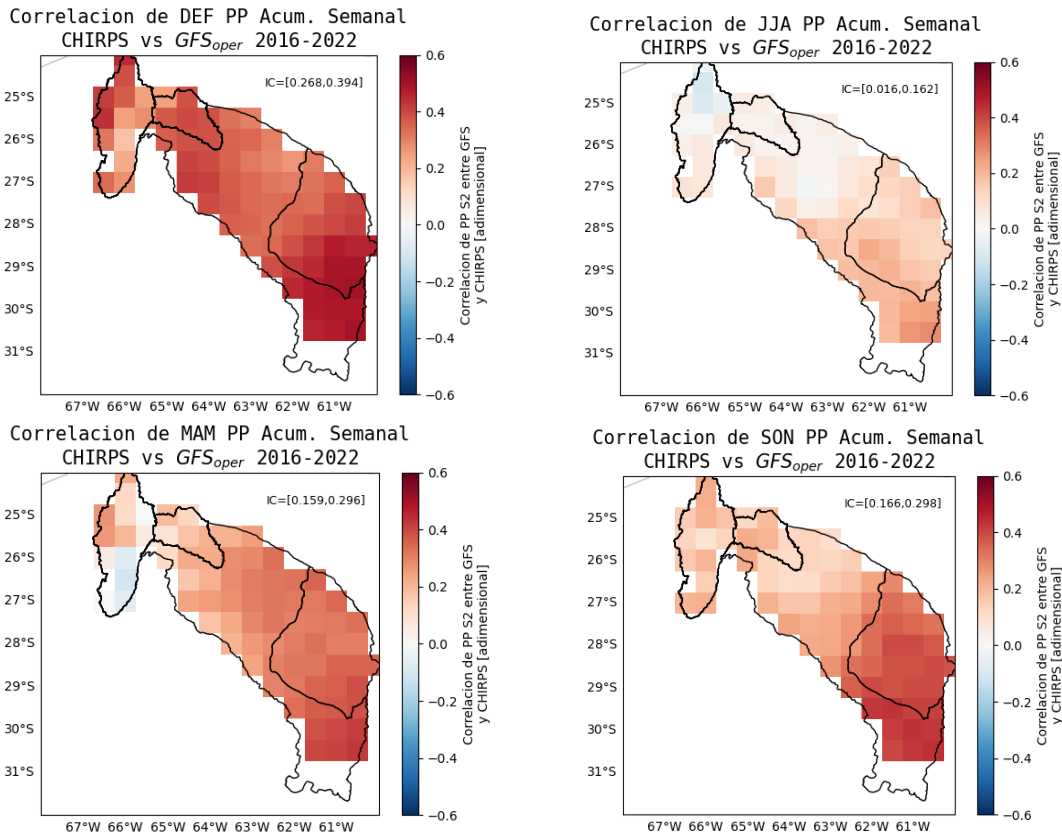


Figura 17: Coeficiente de Correlación de Anomalías (ACC) en la cuenca del río Juramento-Salado obtenido trimestralmente para la precipitación acumulada a dos semanas entre el GFS operativo y CHIRPS. El Intervalo de 95% de Confianza (IC) se muestra en la esquina superior derecha.

La RMSE obtenido en la cuenca se muestra en la Figura 18 de forma trimestral. Se observa que el error obtenido es mínimo en JJA, de 10 mm, y máximo en DEF. Durante el verano la RMSE es de 50mm en el extremo noroeste de la cuenca y de 25mm en el resto del territorio. Por otra parte, en los trimestres MAM y SON el error es homogéneo en la cuenca del río Juramento-Salado, de entre 20 a 30mm acumulados.

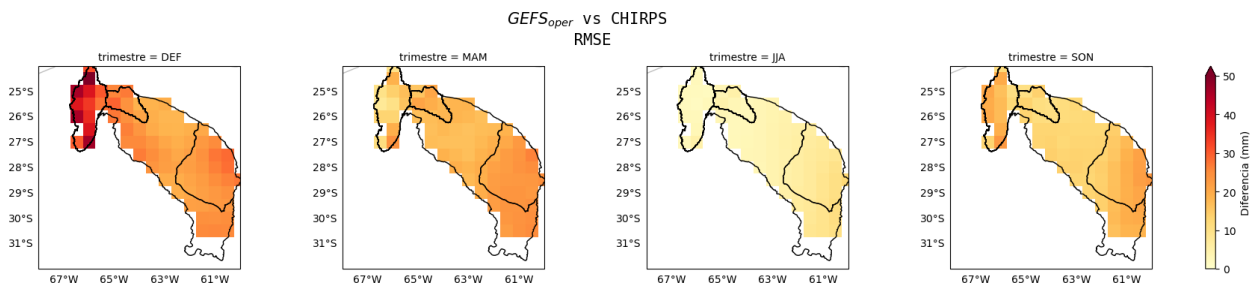


Figura 18: La raíz del error cuadrático medio (RMSE) entre el ensamble GEFS y CHIRPS de anomalías de precipitación acumulada a dos semanas (mm/semana) en la cuenca del río Juramento promediada trimestralmente.

El BIAS obtenido trimestralmente en la cuenca del río Juramento-Salado se muestra en la Figura 19. Durante gran parte del año el BIAS es positivo en el extremo noroeste de la cuenca, de 20mm, excepto en JJA donde es nulo allí. La razón de este fenómeno es la topografía compleja donde el GEFS sobreestima la precipitación (Harrison y otros, 2022). En el resto de la cuenca se observa sobreestimación de 5mm en los trimestres MAM, JJA y SON. En cambio, en DEF, el error cambia de signo alcanzando subestimaciones de precipitación de alrededor de 5mm.

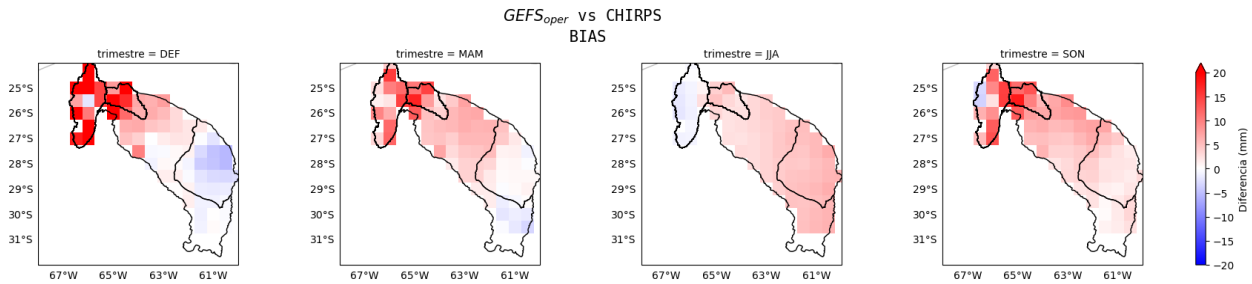


Figura 19: Error medio (BIAS) entre el ensamble GEFS y CHIRPS de anomalías de precipitación acumulada a dos semanas (mm/semana) en la cuenca Juramento-Salado promediado trimestralmente.

En resumen, en la cuenca de los ríos Juramento y Salado la correlación de precipitación a S2 entre GFS operativo y CHIRPS es de 30% en el año, siendo máxima en verano y mínima en invierno. Sumado a esto, el sudeste de la cuenca presenta las mayores correlaciones del territorio en todos los trimestres. En términos generales, la precipitación es sobrestimada especialmente en el extremo noroeste de la cuenca lo que da lugar a diferencias de precipitación de hasta 50mm durante DEF. En cambio, en el sudeste de la cuenca Juramento-Salado, durante MAM y SON, el BIAS es cercano a cero mientras que la RMSE allí es 20mm, lo que indica gran variabilidad de los errores en esa región que provoca compensación.

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se analizan los pronósticos de precipitación a S2 del modelo GFS respecto a la base CHIRPS, utilizando métricas de verificación determinísticas y categóricas en cuatro regiones de Argentina, Uruguay, Paraguay y Brasil.

En todas las regiones de estudio, el desempeño de los pronósticos aumenta en la estación húmeda y disminuye en la estación seca. A su vez, los errores son usualmente máximos en la estación húmeda y son mínimos en la estación seca, cuando mengua la frecuencia de eventos de precipitación. Por otra parte, existe una tendencia a la sobreestimación de la magnitud de la precipitación en gran parte del territorio en todos los trimestres, lo que induce gran cantidad de falsas alarmas que superan a la cantidad de sorpresas.

Al considerar regiones pequeñas, las métricas presentan grandes fluctuaciones entre trimestres o meses ya que la cantidad de puntos es baja, dando lugar a tasas extremadamente altas o bajas. En regiones donde la

acumulación de precipitación es baja en comparación con los umbrales elegidos, hay menos casos de estudio y las métricas no son robustas, como el umbral de 30mm en la cuenca del río Atuel. Por esta razón, se recomienda utilizar como referencia únicamente los resultados obtenidos con el umbral de 5mm.

La magnitud de las correlaciones obtenidas son las esperadas para pronósticos subestacionales sin calibrar con plazos de dos semanas en las regiones extratropicales. El desempeño disminuye en trimestres donde los efectos sinópticos tienen un rol fundamental en la modulación de la atmósfera, en vez de los fenómenos de gran escala.

En regiones con insuficientes estaciones de observación para caracterizarlas, como la Patagonia, la correlación entre la precipitación pronosticada y la observada es baja, alcanzando valores negativos especialmente en JJA. Esto puede estar ocasionado por dificultades del modelo para captar los regímenes de precipitación, y también por diferencias con la precipitación real que la base CHIRPS no puede captar al depender fuertemente de datos satelitales en esa región. En consecuencia, en estas zonas con pocas observaciones se recomienda usar pronósticos solo en trimestres con influencia de fenómenos de gran escala, complementando con otras fuentes de información.

En base a los resultados obtenidos es posible conocer las ventajas y limitaciones del pronóstico GEFS en la escala subestacional, permitiendo la identificación de problemas para su posterior mejora. Al no poder modificar el núcleo dinámico del modelo es necesario realizar cambios en el uso de los datos originales, como la calibración en base a los errores sistemáticos en la región, la generación de ensambles pesados para cada trimestre para obtener medias de ensamble que se ajusten al régimen de cada estación y la elección de umbrales representativos del área de estudio. A su vez, el incremento del periodo de estudio operativo aumentará la cantidad de datos disponibles, permitiendo conseguir resultados más robustos tanto del comportamiento medio del modelo como del pronóstico de eventos extremos.

REFERENCIAS

Aldeco, L. S., Ruiz, J. J., Saulo, A. C., de Elía, R., 2022: Calibración de los pronósticos semanales de precipitación y temperatura media operativos en el Servicio Meteorológico Nacional.

Barros, V., Clarke, R., Silva Dias, P., 2006: El cambio climático en la Cuenca del Plata. CONICET.

Bishara, A. J., Hittner, J. B., 2017: Confidence intervals for correlations when data are not normal. *Behavior research methods*, 49, 294-309.

Coelho, C. A., Firpo, M. A., de Andrade, F. M., 2018. A verification framework for South American sub-seasonal precipitation predictions. *Meteorologische Zeitschrift*, 27(6), 503-520.

De Andrade, F. M., Coelho, C. A. S., Cavalcanti, I. F. A., 2018: Global precipitation hindcast quality assessment of the Subseasonal to Seasonal (S2S) prediction project models. *Climate Dynamics*. doi:10.1007/s00382-018-4457-z

de Elía R., 2021: Plan transversal de verificación de pronósticos del SMN. Nota Técnica SMN 2021-84

Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M. y otros, 2015: The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Sci Data* **2**, 150066. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>

Harrison, L., Landsfeld, M., Husak, G., Davenport, F., Shukla, S., Turner, W., Funk, C., 2022: Advancing early warning capabilities with CHIRPS-compatible NCEP GEFS precipitation forecasts. *Scientific Data*, *9*(1), 375.

Rivera, J. A., Marianetti, G., & Hinrichs, S., 2018: Validation of CHIRPS precipitation dataset along the Central Andes of Argentina. *Atmospheric Research*, *213*, 437-449.

Instrucciones para publicar Notas Técnicas

En el SMN existieron y existen una importante cantidad de publicaciones periódicas dedicadas a informar a usuarios distintos aspectos de las actividades del servicio, en general asociados con observaciones o pronósticos meteorológicos.

Existe no obstante abundante material escrito de carácter técnico que no tiene un vehículo de comunicación adecuado ya que no se acomoda a las publicaciones arriba mencionadas ni es apropiado para revistas científicas. Este material, sin embargo, es fundamental para plasmar las actividades y desarrollos de la institución y que esta dé cuenta de su producción técnica. Es importante que las actividades de la institución puedan ser comprendidas con solo acercarse a sus diferentes publicaciones y la longitud de los documentos no debe ser un limitante.

Los interesados en transformar sus trabajos en Notas Técnicas pueden comunicarse con Ramón de Elía (rdelia@smn.gov.ar), Luciano Vidal (lvidal@smn.gov.ar) o Martin Rugna (mrugna@smn.gov.ar) de la Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios, para obtener la plantilla WORD que sirve de modelo para la escritura de la Nota Técnica. Una vez armado el documento deben enviarlo en formato PDF a los correos antes mencionados. Antes del envío final los autores deben informarse del número de serie que le corresponde a su trabajo e incluirlo en la portada.

La versión digital de la Nota Técnica quedará publicada en el Repositorio Digital del Servicio Meteorológico Nacional. Cualquier consulta o duda al respecto, comunicarse con Melisa Acevedo (macevedo@smn.gov.ar).