

ANÁLISIS DE PREDICCIONES DECENALES A ALTA RESOLUCIÓN DE EVENTOS DE SEQUÍA EN EL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ - COLOMBIA

Yenny Marcela TORO ORTIZ¹, Sonia GÁMIZ FORTIS^{1,2}, Yolanda CASTRIO
DÍEZ^{1,2}, Samir CÓRDOBA MACHADO³, Reiner PALOMINO LEMUS³, María
Jesús ESTEBAN PARRA^{1,2}.

¹*Departamento de Física Aplicada, Universidad de Granada, Granada, España,
Avenida de fuente Nueva, s/n, 180071.*

²*Instituto Interuniversitario de Investigación Tierra en Andalucía (IISTA-CEAMA),
Granada, España, Avenida de Fuente Nueva, s/n, 18071.*

³*Universidad Tecnológica del Chocó Diego Luis Córdoba, Quibdó, Colombia, Cra.
22 No 18B-10, 270002.*

yenmartoro@correo.ugr.es, sgamiz@ugr.es, ycaastro@ugr.es,
d-samir.cordoba@utch.edu.co, d-reiner.palomino@utch.edu.co,
esteban@ugr.es

RESUMEN

Los impactos sobre el ambiente como consecuencia del cambio climático son sustanciales para el futuro, pudiendo afectar de forma marcada a la hidrología de las regiones tropicales. Esta investigación estudia el uso potencial de las predicciones decenales del modelo “*Model for Interdisciplinary Research on Climate*” (MIROC6) para predecir eventos de sequía en el Chocó, zona con grandes registros de precipitación anual, pero en la que los eventos secos tienen marcadas repercusiones socioeconómicas y sobre la biodiversidad. La elección de este modelo se basa en la capacidad que tiene éste para reproducir los principales patrones de la circulación atmosférica que afectan el área de estudio. El análisis se realiza a partir los *hindcasts* decenales de este modelo en el periodo 1961-2018. Teniendo en cuenta la vasta resolución de los modelos de circulación general (GCM-MIROC6), se emplea la metodología de Downscaling Estadístico (DS), para obtener las predicciones regionalizadas de la precipitación. A partir de los valores de la precipitación obtenida a alta resolución espacial, los eventos de sequía se caracterizan mediante el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) a una escala temporal de 3 meses.

Palabras clave: sequía, Chocó, SPI, predicciones decenales, downscaling estadístico.

ABSTRACT

The impacts on the environment because of climate change are substantial for the future and could markedly affect the hydrology of tropical regions. This research studies the potential use of decadal predictions of the Model for Interdisciplinary Research on Climate (MIROC6) model to predict drought events in Chocó, an area with large annual precipitation records, but where dry events have marked socioeconomic and biodiversity impacts. The choice of this model is based on its

ability to reproduce the main atmospheric circulation patterns that affect the study area. The analysis is based on the decadal hindcasts of this model for the period 1961-2018. Considering the vast resolution of the general circulation models (GCM-MIROC6), the Statistical Downscaling (DS) methodology is used to obtain regionalized predictions of precipitation. From the precipitation values obtained at high spatial resolution, drought events are characterized by the Standardized Precipitation Index (SPI) at a time scale of 3 months.

Key words: drought, Chocó, SPI, decadal predictions, statistical downscaling.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de un país o región está condicionado por los recursos naturales o materias primas que este pueda tener, siendo la escasez de agua uno de los mayores riesgos, ya que los recursos hídricos juegan un papel importante en la sostenibilidad socioeconómica y ambiental, afectando a la industria, la agricultura, la ganadería y el sector energético. Esto es particularmente relevante para ciertas áreas de Colombia, como la región del Chocó donde los eventos extremos de precipitación, tanto de sequía como inundaciones, son un problema para la agricultura y ganadería, actividades que representan el 21% de su economía.

Según diversos informes y estudios de diferentes instituciones es probable que en el futuro la escasez de agua aumente y los niveles de agua disminuyan en relación con el aumento de la demanda. En los últimos años los eventos extremos en América han aumentado. Así en el 2020 se documentaron los efectos del aumento de las temperaturas y la variabilidad de las precipitaciones y tormentas, ya que al aumentar las temperaturas de la superficie del mar y la intensificación de los patrones atmosféricos se fomenta el aumento de los eventos extremos (News United Nations, 2020). El departamento del Chocó (Fig. 1), al noreste Colombia, se encuentra en medio de latitudes tropicales, con un ciclo de precipitaciones bimodal asociado a la migración de la zona de convergencia intertropical (ZCIT) (Poveda, 2004) (Poveda, 2004) y la proximidad de los océanos del Pacífico y Atlántico, que proporcionan el transporte de humedad a lo largo del continente (Sakamoto et al., 2011). Este departamento, con una elevada biodiversidad, está sometido a la importante influencia de las masas oceánicas, y corrientes superficiales que se generan en las regiones tropicales, y en particular por el fenómeno de El Niño Oscilación del Sur (ENSO). Una buena predicción climática puede ayudar a atenuar las consecuencias negativas de eventos climáticos adversos para las poblaciones humanas y permite a los dirigentes aprovechar las condiciones favorables para fortalecer el desarrollo socioeconómico de una región a través de una planificación adecuada.

En este sentido, la investigación sobre predicciones decenales climáticas se considera uno de los retos actuales de la ciencia del clima, siendo el Proyecto de Predicción Climática Decadal (DCPP) una importante contribución a la 6ª fase del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP6). Estas predicciones decenales (Boer et al., 2016) abarcan predicciones sobre escalas de tiempo anuales, plurianuales y decenales considerando condiciones iniciales apropiadas, principalmente asociadas con la temperatura de la superficie del mar (SST), así como condiciones de contorno

forzado, principalmente asociadas con el aumento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera. Sin embargo, estas predicciones tienen una vasta resolución, y, por lo tanto, presentan limitaciones para simular la variabilidad de las precipitaciones y la sequía a escala regional. Para resolver esto, se utilizan modelos de downscaling (Wilby et al., 2004), entre ellos downscaling estadísticos DS es ampliamente utilizado en estudios climáticos y se basa en modelos que relacionan empíricamente las variables a gran escala con las variables observadas a escala local; para ello el modelo se ajusta utilizando datos climáticos actuales y se replica para las salidas de GCMs (Benestad, 2010).

Así el objetivo de este trabajo es explorar la capacidad del DS, aplicado a las retropredicciones (*hindcasts*) decenales de un GCM, el MIROC6 para predecir en escalas interanuales la precipitación de la estación más húmeda (junio, julio y agosto, JJA), en el área de El Chocó. Para el desarrollo del modelo DS se usará la metodología establecida por (Palomino-Lemus et al., 2014, 2015). Adicionalmente se analizará, a partir de las predicciones de precipitación obtenidas el potencial predictivo para la sequía haciendo uso del Índice de Precipitación Estandarizada (SPI McKee et al., 1993; Vasiliades et al., 2009).

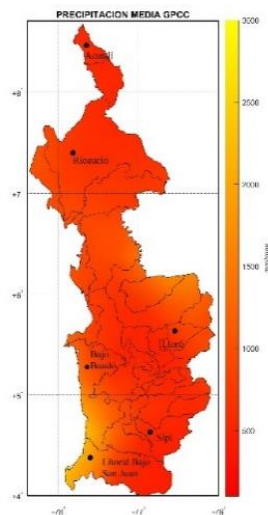


Fig. 1: Precipitación media mensual del GPCC para el departamento del Chocó, identificando varias regiones en las que se calcula el índice Estandarizado de Precipitación.

2. DATOS Y METODOLOGÍA

Los datos de precipitaciones mensuales para esta región fueron proporcionados por el Centro de Climatología de Precipitaciones Globales (GPCC) para el período 1961-2018, con una resolución de 0.25°. La variabilidad de la presión del nivel del mar (SLP) en el área de estudio se considera como un factor importante de las precipitaciones en esta zona y se utiliza como predictor (Palomino-Lemus et al, 2015, 2014). Así, los datos de SLP del reanálisis NCEP en JJA para el mismo periodo de tiempo son usados en el ajuste del modelo DS. Análogamente, para la aplicación del

modelo DS se emplean los datos de la SLP simulados de los *hindcasts* decenales del modelo MIROC6, del Instituto Nacional de Estudios Ambientales de la Universidad de Tokio. En particular en este trabajo se han empleado los datos de SLP del MIROC6 de los miembros del ensemble r1i1p1f1 y r2i1p1f1, centrándonos en evaluar la habilidad del modelo en el primer año de predicción.

El modelo DS se basa en el uso de los principales modos de variabilidad de la SLP como predictores de la precipitación. Estos modos de variabilidad se obtienen a partir de un análisis de componentes principales de la SLP de los datos del NCEP. Las relaciones entre estos modos de variabilidad y la precipitación del Chocó se han analizado usando las correlaciones entre las Componentes Principales (PC) de la SLP y la precipitación de JJA en el área de estudio. Una vez seleccionadas las PC significativas de la SLP, se ha aplicado el método de Regresión por Componentes Principales (PCR) para establecer el modelo DS para la precipitación de JJA en cada punto de grid. Los periodos 1961-2000 y 2001-2018 fueron utilizados como los periodos de calibración y de validación, respectivamente. Se ha analizado la capacidad del modelo DS aplicado al modelo MIROC6 para simular la precipitación de JJA en El Chocó, tanto para el periodo de calibración como el de validación analizando campos medios de precipitación simulada y observada, así como los valores del RMSE y la correlación entre los valores predichos y observados.

El Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) es utilizado para caracterizar los eventos de sequía en seis regiones o zonas diferentes, Lloró, Acandí, Bajo Baudó, Riosucio, Litoral Bajo San Juan y Sipí. Para ello, los valores de precipitación mensual en estas regiones se ajustan a una distribución de probabilidad Gamma utilizando el método de máxima verosimilitud (Naresh Kumar et al., 2009).

Para evaluar las mejoras proporcionadas por el DS en términos de índices de sequía se comparó la simulación de los índices de sequía calculados a partir de la precipitación simulada utilizando el DS con los obtenidos a partir de los datos observacionales. El índice SPI tanto para el periodo de calibración como de validación a una escala temporal de 3 meses.

Finalmente, se calcula con coeficientes de correlación y el RMSE entre el SPI observacional y el predicho, para cuantificar la capacidad del DS para la simulación de los índices y compararlos.

3. RESULTADOS

La Fig. 2 muestra los factores de carga asociados a los ocho (8) primeros autovectores (EOFs) obtenidos de dicho análisis empleando la SLP del NCEP. De igual forma, la Fig. 3 presenta los ocho (8) primeros factores de carga de la SLP obtenida del modelo MIROC6. Por motivos de espacio solo se muestra una de las ejecuciones del modelo. La comparación entre ambas figuras permite constatar que el MIROC6 reproduce aceptablemente los principales patrones de la SLP de los datos del NCEP, particularmente para los dos primeros modos, que representan aproximadamente el 40% de la varianza de la SLP de JJA para ambos tipos de datos.

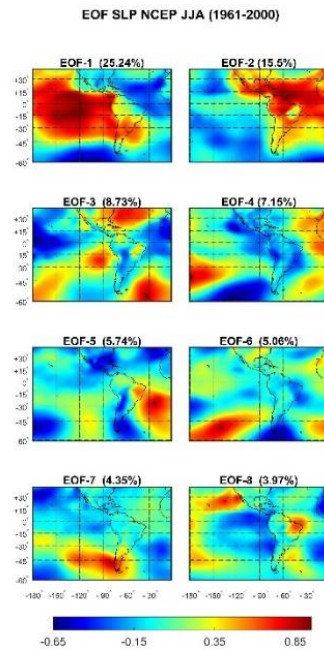


Fig. 2: EOF SLP NCEP en junio, julio y agosto para América tropical, el primer EOF explica la variabilidad con la primera componente, el segundo EOF está asociado a la segunda componente y su variabilidad total explicada para el período de calibración 1961-2000.

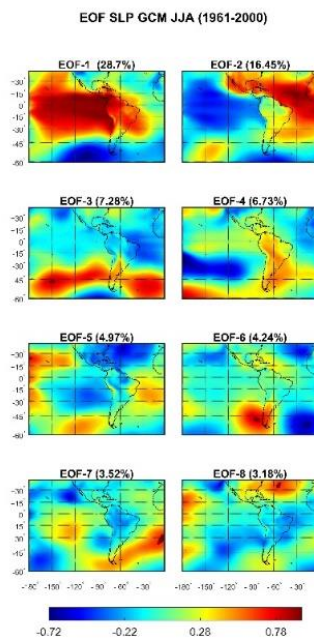


Fig. 3: EOF SLP GCM-MIROC6. Como en la figura 2, con el primer miembro del grupo r1ilplf1 para América tropical.

A partir de las series PCs de la SLP del NCEP que mejor correlacionan con la precipitación se ajustó el modelo de DS. La Fig. 4 ilustra los resultados de su aplicación para el periodo de calibración. Esta figura permite la comparación de

precipitación media de los datos del GPCC (Fig. 1) con la obtenida del DS con el SLP del NCEP y del MIROC6. Se observa que el modelo en el período de calibración reproduce adecuadamente la precipitación media observada, con altos coeficientes de correlación entre 0.7 y 0.9 para la precipitación simulada con DS del NCEP y valores entre 0.5 y 0.75 para la simulada con DS del MIROC6, sobre todo en la parte sur y oeste del departamento del Chocó y con RMSE cercanos a 10%, siendo los RMSE más altos del orden del 40%. Para el periodo de validación (Fig. 5), los resultados son similares, aunque algo más modestos, con valores del RMSE entre el 10% y el 45% y coeficientes de correlación entre 0.4 y 0.8.

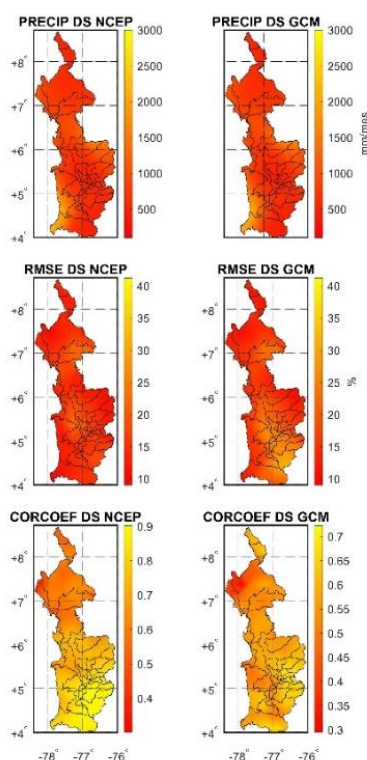


Fig. 4: Precipitación media simulada (1° fila), RMSE relativo (2° fila) y correlación con la precipitación observada (3° fila) el modelo DS aplicados a los datos del NCEP (izquierda) en el periodo de calibración, y del GCM-MIROC6 (derecha). Correlaciones por encima de 0.26 y 0.40 son significativas al nivel de confianza del 95% en el periodo de calibración y validación, respectivamente.

Finalmente se analiza, los índices SPI a 3 meses obtenidos para cada localidad. La Fig. 6 ilustra la evolución temporal de estos índices tanto en el periodo de calibración como el periodo de validación, mientras que la Tabla 1 presenta los valores de correlación y RMSE entre los valores predichos y observados.

Como se puede observar en el período de calibración existe una concordancia aceptable entre los valores predichos por el modelo DS y los observados para Lloró, Riosucio, Bajo Baudó, Litoral Bajo San Juan y Sipí, cuando los datos del NCEP se utilizan como predictores, obteniéndose peores estimaciones del SPI observado en Acandí, siendo en todas las estaciones las correlaciones entre datos observados y

modelados significativa a nivel de confianza del 95% Cuando se emplea la SLP del MIROC6 como predictor en el periodo de calibración, el SPI predicho representa adecuadamente el observado, tanto para el primero como para el segundo miembro del ensemble, siendo de nuevo significativas la correlación aunque menores.

Para el periodo de validación, los resultados empeoran, si bien con el NCEP siguen siendo significativas excepto en Acandí y Riosucio, en el norte de la región, y con el MIROC6 sólo son significativas en Lloró y Sipí, en el sureste. Por otro lado, los valores del RMSE son altos, sobre todo cuando se usa la SLP del MIROC6, con valores cercanos a 1 y en general, aún mayores en el periodo de validación.

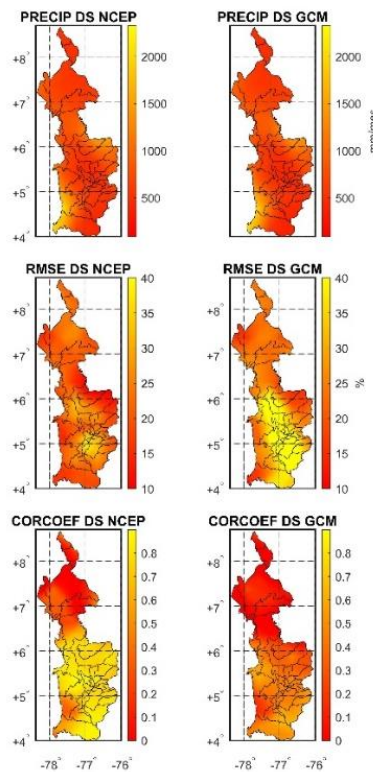


Fig. 5: Como la Figura 4 para el periodo de validación.

Para cuantificar la habilidad de la predicción del SPI, se han definido tres categorías en términos de condiciones normales, secas y húmedas dependiendo del valor SPI (Tabla 2), de tal forma que analiza el porcentaje de casos en los que hay concordancia entre la categoría del SPI predicha y la observada, así como el porcentaje en coincidencia en el signo del SPI. Con la precipitación obtenida con el DS de la SLP del MIROC6 en el periodo de calibración para la zona de Acandí se acierta en la categoría alrededor del 77.5% de las veces con un 50% en la categoría de húmedo y 100% en categoría seco, de ese porcentaje a su vez se coincide en el signo el 67.74% de las veces. En Bajo Baudó se explica el 60% en la categoría del SPI y un 60% en el signo. Lloró alcanza a explicar el 65% en la categoría total, del cual en húmedo se explica el 40% y 37.50% en seco. Para la zona de Riosucio se alcanza a explicar el 72.5% de las categorías y el 70% del signo. En la zona de Litoral Bajo San Juan se reproduce al rededor del 77.5% de las categorías del SPI de ese porcentaje coinciden

en categoría y signo el 77.42%. En Sipí se reproduce el SPI alrededor del 52.5% de las veces en las categorías, de este porcentaje se coincide en húmedo un 42.86% y en seco el 66.67%, de las coincidencias de categorías a su vez se coincide en el signo el 60% de los puntos. En Validación en Acandí se explica cerca del 44.44% de las categorías de este porcentaje coincide en el signo el 50%.

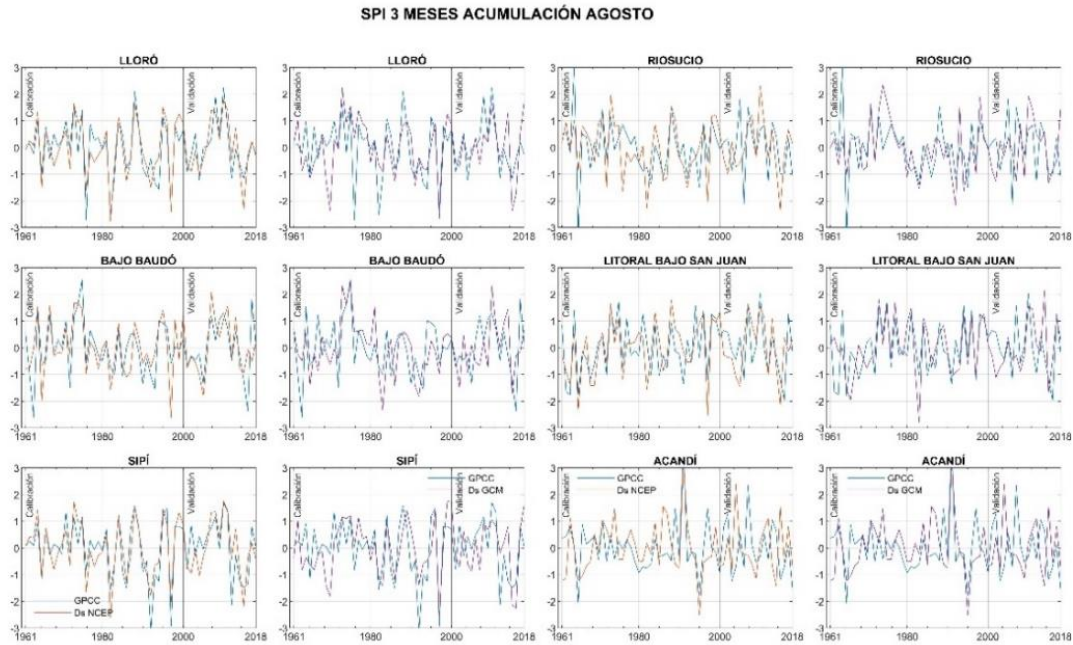
Región	Modelo	Periodo	R	RMSE
Acandí	MIROC6	calibración	0,49	0,97
Acandí	NCEP	calibración	0,34	1,12
Bajo Baudó	MIROC6	calibración	0,54	0,96
Bajo Baudó	NCEP	calibración	0,64	0,85
Lloró	MIROC6	calibración	0,58	0,97
Lloró	NCEP	calibración	0,85	0,58
Riosucio	MIROC6	calibración	0,54	0,96
Riosucio	NCEP	calibración	0,55	0,95
L. B. S. Juan	MIROC6	calibración	0,64	0,86
L. B. S. Juan	NCEP	calibración	0,71	0,77
Sipí	MIROC6	calibración	0,67	0,86
Sipí	NCEP	calibración	0,87	0,55
Acandí	MIROC6	validación	-0,16	1,49
Acandí	NCEP	validación	-0,3	1,6
Bajo Baudó	MIROC6	validación	0,29	1,19
Bajo Baudó	NCEP	validación	0,59	0,91
Lloró	MIROC6	validación	0,54	0,94
Lloró	NCEP	validación	0,83	0,57
Riosucio	MIROC6	validación	0,1	1,34
Riosucio	NCEP	validación	0,36	1,13
L. B. S. Juan	MIROC6	validación	0,39	1,08
L. B. S. Juan	NCEP	validación	0,43	1,07
Sipí	MIROC6	validación	0,46	1,08
Sipí	NCEP	validación	0,67	0,83

Tabla 1. Correlación (R) y RMSE entre los datos de precipitación observados y simulados. Correlaciones significativas al nivel de confianza del 95% aparecen en **negrita**.

SPI	Categoría
-1<SPI<1	Normal
SPI>1	Húmedo
SPI<-1	Seco

Tabla 2. Categorías de sequía basadas en el valor SPI

En Bajo Baudó con respecto al periodo de calibración mejora en las coincidencias de las categorías con un 61.11%. Para Lloró en este periodo se explica el 66.67% del índice, en húmedo el 50% y el 33.3% en seco mostrando una mayor estabilidad en el cálculo del índice. En Riosucio hay coincidencia en el 44.4% de las categorías y del 55.6% donde no se coincide en categoría si se coincide en signo un 61.11%. En el Litoral Bajo San Juan se reproduce el 55.56% en categorías y signos. Y en Sipí de 72.22% de coincidencias en categorías el 33.3% corresponde a la categoría de húmedo y el 50% a seco.



*Fig. 6: índice Estandarizado de Precipitación para las seis (6) zonas de estudio del departamento del Chocó, en color azul el SPI del el Centro de Climatología de Precipitaciones Globales (GPCC), en color naranja el SPI obtenido con el DS de la SLP del NCEP y en color morado el SPI de la SLP del MIROC6 para el grupo *rlilplfl*.*

4. DISCUSIÓN

En este trabajo se evalúa el potencial predictivo de las predicciones decenales del modelo MIROC6 regionalizadas mediante un modelo de *downscaling* estadístico, Aunque los modelos DS se aplican a diferentes retropredicciones decenales inicializadas cada año en el período 1961-2018, la habilidad de la predicción solo se examina durante el primer año. El modelo DS es ligeramente más adecuado para la predicción de precipitaciones con los datos decenales del modelo MIROC6 para el período de calibración (1961-2000) que para el período de validación (2001-2018). Este peor desempeño del modelo en el período de validación puede estar relacionado con el menor número de estaciones meteorológicas con datos en los últimos años, especialmente en las regiones norte y sur del departamento del Chocó. Este peor comportamiento en al periodo de validación, esperable, podría mejorarse cambiando el esquema de predicción, recalibrando el modelo hasta el año previo a predecir, y por tanto maximizando la información suministrada al modelo.

El SPI calculado a partir de la precipitación del DS utilizando tanto la SLP del NCEP como el MIROC6 en el período de calibración para las diferentes áreas estudiadas tiende a reproducir aceptablemente los valores observados del SPI, con una buena concordancia entre las diferentes categorías contempladas para el mismo, siendo los resultados más limitados en el período de validación. Algunas de las limitaciones de este estudio, más centrado en mostrar la metodología del DS, se deben en primer lugar,

a que los resultados solo se muestran para dos miembros del conjunto del modelo. Sin embargo, para limitar adecuadamente los errores de estas predicciones, es necesario utilizar un alto número de ejecuciones de modelos con diferentes condiciones iniciales perturbadas. Además, el número final de predictores se ha limitado a las primeras 5 componentes principales del campo SLP para el dominio espacial de la precipitación.

AGRADECIMIENTOS

Y.M. Toro-Ortiz reconoce al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia por la beca predoctoral (código de beca: 860). Este estudio ha sido realizado en el marco del proyecto CGL2017-89836-R, financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad, y con fondos FEDER adicionales: B-RNM-336-UGR18, financiado por FEDER/Junta de Andalucía - Conserjería de Economía y Conocimiento, y P20_00035, financiado por FEDER/Junta de Andalucía-Conserjería de Transformación Económica, Industria, Conocimiento y Universidades, y Ministerio de Ciencia e Innovación (proyecto LifeWatch-2019-10-UGR-01).

REFERENCIAS

- Benestad, R. E. (2010). Downscaling precipitation extremes. *Theoretical and Applied Climatology*, 100(1), 1–21. <https://doi.org/10.1007/s00704-009-0158-1>
- Boer, G. J., Smith, D. M., Cassou, C., Doblas-Reyes, F., Danabasoglu, G., Kirtman, B., Kushnir, Y., Kimoto, M., Meehl, G. A., & Msadek, R. (2016). The decadal climate prediction project (DCPP) contribution to CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 9(10), 3751–3777.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17(22), 179–183.
- Naresh Kumar, M., Murthy, C. S., Sessa Sai, M. V. R., & Roy, P. S. (2009). On the use of Standardized Precipitation Index (SPI) for drought intensity assessment. *Meteorological Applications: A Journal of Forecasting, Practical Applications, Training Techniques and Modelling*, 16(3), 381–389.
- News United Nations. (2020). *La temporada 2020 de huracanes en el Atlántico: un récord y una tragedia para Centroamérica*. News United Nations. <https://news.un.org/es/story/2020/11/1484192>
- Palomino-Lemus, R., Córdoba-Machado, S., Gámiz-Fortis, S. R., Castro-Díez, Y., & Esteban-Parra, M. J. (2014). Statistical downscaling of summer precipitation in Colombia. *Proceedings of the Cambio Climático y Cambio Global, Almería, España*, 28–30.
- Palomino-Lemus, R., Córdoba-Machado, S., Gámiz-Fortis, S. R., Castro-Díez, Y., & Esteban-Parra, M. J. (2015). Summer precipitation projections over northwestern South America from CMIP5 models. *Global and Planetary Change*, 131, 11–23. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.05.004>
- Poveda, G. (2004). La hidroclimatología de Colombia: una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diaria. *Rev. Acad. Colomb. Cienc*, 28(107), 201–222.
- Sakamoto, M. S., Ambrizzi, T., & Poveda, G. (2011). Moisture sources and life cycle of convective systems over western Colombia. *Advances in Meteorology*, 2011.
- Vasiliades, L., Loukas, A., & Patsonas, G. (2009). Evaluation of a statistical downscaling procedure for the estimation of climate change impacts on droughts. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9(3), 879–894.
- Wilby, R. L., Charles, S. P., Zorita, E., Timbal, B., Whetton, P., & Mearns, L. O. (2004).

Guidelines for use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods.
*Supporting Material of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Available from the
DDC of IPCC TGCI, 27.*