

ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES EXTREMAS EN CANARIAS A PARTIR DE RESULTADOS DE REGIONALIZACIONES ESTADÍSTICAS Y DINÁMICAS

P. ACOSTA-MORA, F.J. EXPÓSITO, J.C. PÉREZ, A. GONZÁLEZ Y J.P. DÍAZ
Grupo de Observación de la Tierra y la Atmósfera (GOTA). Universidad de La Laguna. A/Astrofísico Francisco Sánchez s/n. 38200 La Laguna. Tenerife.
pacostam@ull.edu.es

RESUMEN

En este trabajo se presenta un análisis de eventos extremos de precipitación diaria en la Islas Canarias, utilizando la teoría de valores extremos (GEV, generalized extreme value), con el fin de predecir los cambios a final de siglo para el escenario de emisión de gases de efecto invernadero más desfavorable (RCP8.5). Para ello, los datos de diferentes regionalizaciones climáticas, tanto estadísticas como dinámicas, y para dos periodos diferentes, histórico (1980-2009) y futuro (2070-2099), han sido utilizados. Los resultados obtenidos de estimaciones estadísticas corresponden a los datos diarios de proyecciones regionalizadas de cambio climático publicados por Aemet, para los que se utilizaron tres tipos de algoritmos empíricos basados en las técnicas de análogos, regresión, y redes neuronales. Los datos de las simulaciones dinámicas se obtuvieron a partir de simulaciones con el modelo WRF (Weather Research and Forecasting) utilizando tres dominios anidados, de los que se han analizado los dos de mayor resolución espacial, 9 y 3 km respectivamente. Las condiciones de contorno para dichas simulaciones corresponden a los resultados de tres modelos climáticos globales: GFDL-ESM2M, MIROC-ESM e IPSL-CM5. Los datos observacionales utilizados para la validación de los resultados de los modelos se obtuvieron de la base de datos SPREAD. Debido a alta heterogeneidad del territorio y con el fin de simplificar el análisis se realizó una regionalización basada en un análisis de componentes principales y técnicas de agrupamiento automático, obteniendo cuatro regiones principales, que presentan, entre sí, diferencias apreciables en los extremos observados. Como resultados destacables, se ha encontrado una subestimación general tanto de la precipitación media como de los fenómenos extremos por parte de los métodos estadísticos en comparación a los dinámicos. Sin embargo, ambos métodos coinciden en la predicción de un incremento de los tiempos de retorno de los fenómenos de precipitación extrema a finales de siglo.

Palabras clave: precipitaciones extremas, regionalización climática estadística y dinámica, proyecciones climáticas.

ABSTRACT

A generalized extreme value theory (GEV) analysis for precipitation events in Canary Islands, aimed to predict changes of some main hydrological parameters until the end of the present century and for RCP8.5 greenhouse gas scenario is presented in this

work. To this end two different approximations for simulations, i.e. dynamical-downscaling and statistical methods have been taken into account for comparison and validation. For statistical simulations, data from the Spanish Meteorological Agency AEMET, comprising analogues, neural network and linear regression methods have been analysed for two time periods, 1980-2009 (historical) and 2071-2100, and on the other hand, dynamical-downscaling simulations using WRF nested domains with resolutions of 3 and 9 km have been studied along the century using three global contour conditions as inputs: GFDL-ESM2M, MIROC-ESM and IPSL-CM5. The historical precipitation data for validations has been taken from 110 stations of the SPREAD database over the Canarian archipelago. Due to the high orographical changes along the small distances on the islands, we also present a spatial regionalisation in four different areas to highlight the appreciable differences on the studied extreme precipitation events. As relevant results it can be appreciated noticeable differences between statistical values, which are clearly lower than observations, and the ones obtained by dynamical methods that remain closer to the observations. Nevertheless both methods are in good agreement with the prediction of an augmentation of the return times of the extreme precipitation events for the end of the century.

Key words: extreme precipitation, dynamic and statistical climate regionalisation, climate projections.

1. INTRODUCCIÓN

Las Islas Canarias se encuentran en una localización singular del subtropical norte, entre las latitudes 27.9°-28.9°N y longitudes 18.3°-13.3°W, cerca de la costa africana. El archipiélago cuenta con 7 islas volcánicas y una variedad única de desniveles que causan la aparición de múltiples microclimas. (Puyol, 2002; García-Herrera et al., 2003; Bechtel, 2016). Es conocida la importancia que tienen las predicciones climáticas en áreas turísticas y en Canarias el turismo está entre sus principales sectores económicos. Con esto, el estudio de precipitaciones es de gran importancia para el citado sector, pues son de interés las predicciones de lugares y periodos donde haya una mayor o menor probabilidad de precipitación a lo largo del año. (López Díez et al., 2019, Alonso-Pérez et al., 2021) El mecanismo principal de precipitación en las Islas Canarias es la lluvia orográfica, debido al constante flujo de masas de aire húmedo procedentes del Atlántico, impulsadas por el régimen de alisios característico de esta región. La precipitación convectiva provocada por la llegada de bajas y frentes queda relegada a un segundo lugar al ser menos frecuente (Puyol, 2002; García-Herrera et al., 2003). Por otro lado, la baja precipitación anual en las islas conlleva que los suelos estén en general poco preparados para eventos de lluvia muy intensa, lo que apunta de nuevo a la necesidad de sistemas de pronóstico lo más fiables posible (Expósito et al., 2015). La teoría generalizada de valores extremos (GEV) es una vía para estimar la probabilidad de precipitaciones extremas y sus correspondientes tiempos de retorno, basada en tratamientos estadísticos de dichos eventos. (Katz et al., 2002, Ban et al., 2020).

Existen varias aproximaciones para predecir la precipitación mediante simulaciones climáticas. Para este trabajo se han seleccionado dos de ellas para su discusión: la regionalización basada en métodos estadísticos y el downscaling dinámico.

La segunda de las aproximaciones empleadas para la predicción de precipitaciones es el downscaling dinámico. En este caso, la metodología consiste en aplicar a un conjunto de datos de contorno o frontera meteorológicos, las ecuaciones de fluidos en la atmósfera para obtener los resultados en un mallado con mejor resolución espacial. Ambos métodos presentan ventajas e inconvenientes.

2. MÉTODOS

2.1. Método de simulación dinámico (WRF)

Para el caso de downscaling dinámico se ha empleado el modelo Weather Research and Forecast (WRF) (Skamarock et al., 2008). Se trata de un sistema de predicción numérica a nivel mesoescalar que puede producir tanto simulaciones basadas en las condiciones reales de la atmósfera como en situaciones futuras. En este caso se han definido 3 dominios con resoluciones espaciales de 27, 9 y 3 km (D01, D02 y D03, respectivamente), en una configuración de anidamiento unidireccional de 32 niveles verticales. El resto de parametrizaciones utilizadas corresponde a las indicadas por Pérez et al. (2014). El modelo se ha utilizado para predecir precipitaciones en el periodo 2070-2099 bajo el escenario climático RCP8.5 (Taylor et al., 2012). Para estas simulaciones se ha utilizado como datos de entrada los aportados por los siguientes modelos globales: GFDL-ESM2M, MIROC-ESM e IPSL-CM5A-MR. Las simulaciones se inician un año antes del periodo indicado para proporcionar estabilidad a la física del modelo, pero no se han incluido en el análisis posterior de los dominios. Los resultados mostrados en este trabajo corresponden a los dominios D02 y, sobre todo, al D03.

2.2. Métodos estadísticos

En el caso de los métodos estadísticos se han estudiado los resultados obtenidos por AEMET usando tres métodos distintos:

2.2.a Método de análogos

En general, pueden mantener la coherencia espacial pero no pueden predecir valores fuera de los rangos observados (Zorita von Storch, 1999). Por otro lado, los requisitos de este método son muy simples y son capaces de abarcar muchos aspectos de los climas locales, lo que ha hecho que se haya extendido mucho su uso en este campo (Gutiérrez et al., 2013; San-Martín et al., 2017). Los métodos aquí aplicados incluyen: (1) la obtención de la clasificación de situaciones atmosféricas; (2) selección de un predictor para cada variable, categoría y punto de observación; (3) y la obtención de proyecciones. Para la precipitación, la medida de similitud usada para calcular análogos sinópticos fue el cuadrado de la distancia euclídea del campo tipificado. Los predictores seleccionados fueron: presión a nivel del mar, vorticidad (a nivel del mar y a 500 hPa), el gradiente de temperatura vertical entre los niveles a 850 y 500 hPa, las componentes meridionales y zonales de viento a 500 hPa, las componentes

verticales del viento (a nivel del mar y a 500 hPa) y la tendencia de la presión a nivel del mar.

2.2.b Método de regresión lineal

En esencia hace uso de relaciones lineales y no lineales entre predictores y predictandos (Wilby et al., 2002b). El método de regresión que se presenta en este trabajo es un modelo general lineal (GLM) consistente en una modificación realizada por AEMET a partir de resultados previos basados en modelos de downscaling estadísticos (SDSM, Wilby et al., 2002b). Sin embargo acarrea algunas desventajas puesto que no representan adecuadamente las fluctuaciones y los extremos, tendiendo a asumir cierta normalización de los conjuntos de datos y convirtiéndolo en un método especialmente inapropiado para la precipitación diaria (Gutiérrez et al., 2019). Para desarrollar una ecuación de regresión multilínea, hay algunos pasos importantes que deben seguirse: (1) selección de predictor, (2) diseño del modelo de regresión y (3) validación del modelo y aplicación para la obtención de escenarios. (Brunet et al., 2008 p67-68) Los esquemas de regionalización como las técnicas de regresión y los patrones climáticos están basados en conjuntos de datos históricos para calibrarse. No obstante, dado que pueden establecer relaciones dinámicas entre predictores y predictandos, son más efectivos regionalizando escenarios futuros que los métodos de análogos (Wilby et al., 2002b). Los predictores principales son la temperatura, la humedad específica, componente zonal y meridional del viento con niveles de presión a 850, 700 y 500 hPa, componente zonal y meridional del viento a 10 metros, presión a nivel del mar y temperatura máxima y mínima a 2 metros (Kilsby et al., 1998; Wilby et al., 2002a)

2.2.c Redes neuronales

Son algoritmos de aprendizaje supervisados basados en el funcionamiento del cerebro. Son muy reconocidos por su capacidad para simular relaciones no lineales complejas entre predictores y predictandos. (Mendes and Marengo, 2013). Las ANNs se han entrenado con datos observados de precipitación y temperaturas máximas y mínimas diarias procedentes de estaciones de la Agencia Estatal de Meteorología. Las estaciones se encuentran distribuidas por todo el territorio español y fueron seleccionadas de entre otras muchas tras superar unos controles de calidad y completitud (Brunet et al., 2008). Dichas estaciones son las mismas que se han empleado en las dos técnicas de regionalización estadísticas desarrolladas previamente en AEMET (Amblar et al., 2017). Como predictores se ha usado un conjunto de variables de reanálisis de NCEP/NCAR con una resolución de 2.5° (Kalnay et al., 1996). Dichos predictores son los mismos que se emplearon en el método de regresión múltiple para la obtención de los escenarios regionalizados.

2.3. Observaciones

2.3.a. Datos observacionales para simulaciones WRF

Los datos observacionales usados para este estudio fueron obtenidos del “Spanish PREcipitation At Daily scale (SPREAD) database”. SPREAD es un set de datos de precipitación diaria en rejilla de alta resolución (5 x 5 km²) construido a partir de 12858 (920) observatorios, cubriendo el periodo 1950 - 2012 (1971 - 2012) para la

España peninsular (Islas Canarias). La metodología para generar este conjunto de datos incluye, como primer paso, el control de calidad de los datos sin procesar y un proceso de reconstrucción (de datos vacantes) creando valores de referencia (RV) usando modelos lineales (GLM) basados en las 10 observaciones más cercanas. A continuación, se estima un set de datos en rejilla (Serrano-Notivoli et al., 2017b) basado en el paquete reddPrec R (<https://cran.r-project.org/web/packages/reddPrec>). Los datos SPREAD fueron comparados con las observaciones computando cuatro índices de precipitación diaria y nueve índices de precipitación extrema (Serrano-Notivoli et al., 2017). Estos resultados muestran un buen acuerdo entre SPREAD y las observaciones para España, siendo sólo destacables para el caso de Canarias, una ligera infraestimación (-8%) de la precipitación, a altitudes por encima de los 2000 metros sobre el nivel del mar.

2.3.b. Datos observacionales utilizados por AEMET

Se utilizan tres conjuntos de datos agrupados en dos tipos: datos de referencia y datos procedentes de modelos climáticos. Los datos de referencia proceden de la observación, bien directamente, bien mediante modelos de reanálisis. El tercer grupo de datos lo forman los datos de simulaciones de modelos climáticos globales tanto para el periodo 1961-1990, correspondientes a simulaciones del clima actual, como para el siglo XXI. A partir de estos datos se estimaron las proyecciones futuras de los predictandos en los puntos de observación mediante las técnicas de regionalización empíricas. Los datos históricos de precipitación que se han considerado en este informe corresponden a 2323 puntos de observación, procedentes del banco de datos de AEMET para el periodo 1951-2005. Estos puntos de observación han sido seleccionados después de haber sido sometidas sus series temporales, en el periodo de interés, a un control de calidad riguroso (Brunet et al., 2008). Se ha procurado que la cobertura espacial fuera la más adecuada (Amblar et al., 2017).

2.4. Análisis estadísticos y de valores extremos

El análisis de los datos observacionales permite obtener una distribución espacial de las precipitaciones en Canarias. Llevando a cabo un análisis de conglomerados es posible obtener 4 zonas pluviométricas diferenciadas: oeste (W), centro norte (CN), centro sur (CS) y este (E) (Fig. 1). Los índices empleados en el análisis estadístico y de valores extremos son la precipitación media (MEAN), frecuencia (FREQ) e intensidad (INT) (Tabla 1). La metodología ha sido la misma para los datos observacionales (SPREAD), los obtenidos por downscaling dinámico (WRF) y los de las distintas regionalizaciones estadísticas (AEMET).

Para los cálculos hechos en el análisis GEV de este trabajo se ha usado el paquete de python “PyExtremes” optimizado para tratar con los máximos de precipitación mensuales de los distintos periodos de 30 años considerados. Una vez ejecutado el análisis GEV para cada una de las series de datos de cada estación por separado se procedió, según el caso, a calcular los valores y tiempos de retorno promedio de las estaciones agrupadas por zonas pluviométricas y también se promedió por conjuntos de modelos globales de entrada, tanto para WRF como para los estadísticos de AEMET.

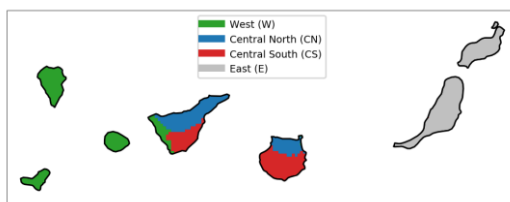


Fig. 1: Zonas pluviométricas

Abreviación	Definición	Unidad
MEAN	Precipitación media	mm/día
FREQ	Número de días por encima de 1 mm sobre el total	adim
INT	Cantidad de precipitación diaria por encima de 1 mm	mm/día

Tabla 1: Índices de precipitación

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la parte superior de la Tabla 2 se pueden ver los índices de la media, frecuencia e intensidad de precipitación anuales de los datos observacionales (SPREAD, 1980-2009) y los correspondientes adquiridos de las simulaciones WRF utilizando entradas de contorno GFDL, IPSL y MIROC y para dos escalas de cuadrícula (3 y 9 km). Se observa que todos los índices de las simulaciones resueltas a 3 km se mantienen más cerca de las observaciones reales en comparación con las de 9 km. En particular, los datos medios extraídos de MIROC están, en términos generales, más cerca de las observaciones que GFDL e IPSL y para ambas escalas de cuadrícula.

Para las observaciones de frecuencia los valores en las regiones oeste y centro norte son ligeramente superiores a los observados para centro sur y este, con un valor máximo de 0.12 para el área centro norte y un mínimo de 0.06 para el área este (esto es, en un año promedio, el 12 % de los días en las zonas más húmedas y alrededor del 6% de los días en las más secas registraron precipitaciones superiores a 1 mm).

También se encuentran en los datos WRF patrones similares, los índices MIROC de 3 y 9 km y el IPSL de 9 km se mantienen más cercanos a las observaciones y GFDL notablemente distante en todas las regiones. En cuanto a las observaciones de intensidad, los datos de SPREAD muestran que las áreas oeste y central sur son más intensas que las áreas central norte y este. De nuevo, estos comportamientos promediados son reproducidos por las simulaciones, pero en este caso los valores GFDL de 3 y 9 km son los más cercanos, seguidos casi por los MIROC. Los resultados de IPSL fueron los peores, alcanzando sesgos superiores al $\pm 50\%$ en la mayoría de los casos.

		MEAN (mm/día)				FREQ (adim)				INT (mm/día)			
		W	CN	CS	E	W	CN	CS	E	W	CN	CS	E
SPREAD / WRF 3 y 9 km	spread	1.31	0.99	0.83	0.47	0.11	0.12	0.08	0.06	11.55	7.55	10.20	7.40
	gfdl3	2.04	1.97	1.03	0.74	0.18	0.23	0.12	0.13	10.58	8.40	8.14	5.73
	ipsl3	0.75	0.69	0.30	0.36	0.09	0.13	0.05	0.10	8.77	5.42	5.71	3.51
	miroc3	1.13	1.04	0.58	0.40	0.11	0.14	0.08	0.08	9.53	7.27	7.88	4.64
	gfdl9	2.21	2.30	1.14	0.82	0.24	0.31	0.14	0.11	8.48	7.14	8.66	7.09
	ipsl9	0.64	0.63	0.22	0.23	0.11	0.15	0.04	0.05	5.25	3.83	4.87	3.46
	miroc9	1.22	1.13	0.64	0.39	0.15	0.19	0.08	0.07	7.80	5.73	8.34	5.60
AEMET	ANA	0.89	0.87	0.52	0.25	0.19	0.21	0.1	0.06	4.15	3.34	4.15	2.97
	NNET	0.74	0.85	0.47	0.24	0.15	0.21	0.1	0.06	4.82	3.82	5.11	3.18
	SDSM	0.82	0.78	0.46	0.25	0.14	0.17	0.1	0.09	5.62	4.36	4.56	2.71

Tabla 2: Índices de precipitación por zonas pluviométricas de SPREAD, simulaciones WRF y métodos estadísticos promediados para el periodo histórico.

La parte inferior de la Tabla 2 contiene los mismos índices calculados para el período histórico de las simulaciones estadísticas, mostrando en general una notoria subestimación de los valores medios en comparación con los datos reales de SPREAD. Los valores de frecuencia están por encima pero más cerca de las observaciones, excepto en el área E, donde los valores son iguales a las observaciones. Y los valores de intensidad vuelven a estar muy subestimados.

En la columna izquierda de la Fig. 2 se muestran las precipitaciones anuales medias (en mm/año) del periodo histórico (1980-2009) sobre el mapa del archipiélago para distintas resoluciones, en la primera fila las obtenidas a partir de los datos observacionales (SPREAD) con una rejilla de 5 km, la segunda muestra los resultados obtenidos por WRF usando el modelo MIROC-ESM para 3 km y en la tercera igual que en la segunda para 9 km.

Se puede observar claramente cómo mejora la precisión en la distribución de precipitaciones, y cómo se ajusta a la orografía del terreno, cuanto más resuelta es la rejilla. En la columna de la derecha (Fig. 2) se exponen resultados para los mismos casos y resoluciones, pero en este caso para los tiempos de retorno (en años) de una cierta precipitación media, previamente calculada con 20 años de tiempo de retorno. Como puede apreciarse, para el periodo histórico las zonas centrales de las islas occidentales tienen una marcada tendencia a alargar estos tiempos de retorno en comparación con las occidentales, y de nuevo, puede apreciarse la mejora que aporta la resolución de la simulación WRF a 3 km con respecto a la de 9 km si usamos como referencia el mapa a 5 km de los datos observacionales (SPREAD).

Sobre los valores de retorno de la precipitación futura, en la Fig. 3 se muestran los valores esperados de eventos extremos diarios en mm/día en función del tiempo de retorno entre 1 y 100 años. La fila superior muestra los valores de retorno calculados para las simulaciones WRF utilizando las condiciones de contorno global IPSL, MIROC y GFDL para el período 2070-2099 y para el escenario RCP8.5.

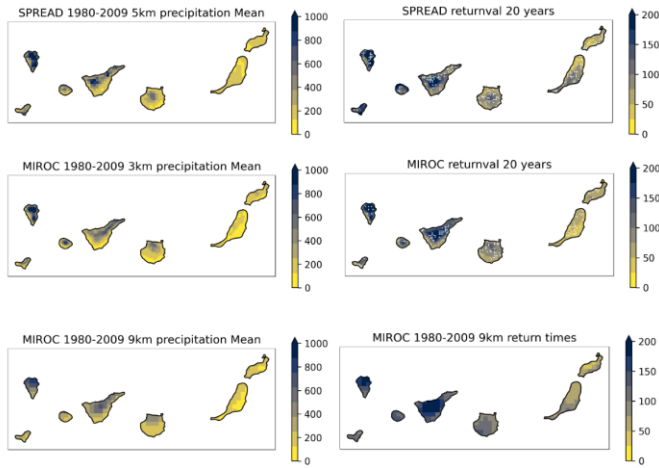


Fig. 2: Mapas de precipitación media y tiempos de retorno de las Islas Canarias a partir de datos SPREAD y WRF-MIROC para resoluciones a 3, 5 y 9 km (los puntos blancos indican significancia estadística por debajo del 95%).

Los valores esperados de SPREAD para el período histórico (línea roja), también se muestran para comparar. En la fila inferior de la Fig. 3 se pueden ver los resultados de predicción GEV basados en métodos estadísticos, donde cada caso (métodos análogos, SDSM y de redes neuronales que tienen numerosos conjuntos de condiciones de contorno de entrada), se representa como una sola línea que es el promedio de cada conjunto.

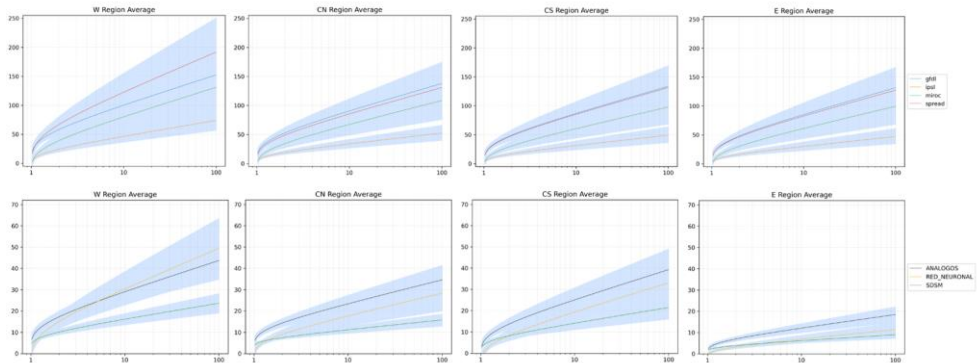


Fig. 3: Valores de retorno sobre tiempos de retorno de 1 a 100 años para el periodo 2070-2099 con RCP8.5 para simulaciones WRF y estadísticos AEMET (en línea roja valores de retorno para SPREAD histórico).

Nuevamente, los resultados promediados estadísticos muestran una notoria subestimación de los valores esperados, pero es importante resaltar que ambas aproximaciones (downscaling dinámico y estadísticos), coinciden en un aumento de

los tiempos de retorno en comparación con los actuales en las predicciones de precipitaciones extremas para fin de siglo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por los proyectos CGL2015-67508-R, y RTC-2017-6409-3, Ministerio de Ciencia e Innovación, España. Los autores agradecen el apoyo del Proyecto PLANCLIMAC (MAC / 3.5b / 244), el cual está financiado por el Programa INTERREG MAC 2014-2020 de la Unión Europea, cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER-FEDER). También se agradece el apoyo del Gobierno de Canarias, Consejería de Transición Ecológica, Lucha contra el Cambio Climático y Planificación Territorial, (acuerdo publicado: B.O.C. nº 238, 20 de noviembre de 2020).

REFERENCIAS

- Alonso-Pérez, S.; López-Solano, J.; Rodríguez-Mayor, L.; Márquez-Martinón, J.M. (2021) Evaluation of the Tourism Climate Index in the Canary Islands. Sustainability, 13, 7042. <https://doi.org/10.3390/su13137042>
- Amblar-Francés, P., Casado-Calle, M.J., Pastor-Saavedra, M.A., Ramos-Calzado, P., and Rodríguez-Camino, E. (2017) Guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC-AR5. https://www.aemet.es/documentos/es/conocerlas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/publicaciones/Guia_escenarios_AR5/Guia_escenarios_AR5.pdf
- Ban, N., Rajczak, J., Schmidli, J. et al., (2020) Analysis of Alpine precipitation extremes using generalized extreme value theory in convection-resolving climate simulations. Clim Dyn 55, 61–75 . <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4339-4>
- Bechtel, B. (2016) THE CLIMATE OF THE CANARY ISLANDS BY ANNUAL CYCLE PARAMETERS, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLI-B8, 243–250, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B8-243-2016>
- Brunet, M., Casado M. J., Castro, M., Galán, M. P., López, J. A., Martín, J. M. y Torres, L. (2008): Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España. Ministerio de Medio Ambiente Medio Rural y Marino. 158 pp. http://climantica.org/descargas/resource/Escenarios_20070402.pdf
- Expósito F J, González A, Pérez J C, Díaz JP, Taima D (2015) High-resolution future projections of temperature and precipitation in the Canary Islands. J Climate 28(19):7846–7856. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0030.1>
- García-Herrera R, Gallego D, Hernández E, Gimeno L, Ribera P, Calvo N (2003) Precipitation trends in the Canary Islands. International Journal of Climatology 23:235–241, <https://doi.org/10.1002/joc.870>
- Gutiérrez, J.M., Maraun, D., Widman, M., Huth, R., Hertig, E., et al., (2019) An intercomparison of a large ensemble of statistical downscaling methods over Europe: results from the VALUE perfect predictor cross-validation experiment. International Journal of Climatology, 39, 3750–3785. <https://doi.org/10.1002/joc.5462>.
- Gutiérrez, J.M., San-Martín, D., Brands, S., Manzanar, R. and Herrera, S. (2013) Reassessing statistical downscaling techniques for their robust application under climate change conditions. Journal of Climate, 26(1), 171–188. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00687.1>

- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., y Zhu, Y. (1996). The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77(3), 437-471.
[https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1996\)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2)
- Katz R W, Parlange M B, Naveau P, (2002) Statistics of extremes in hydrology, *Advances in Water Resources*, Volume 25, Issues 8–12, Pages 1287-1304, ISSN 0309-1708, [https://doi.org/10.1016/S0309-1708\(02\)00056-8](https://doi.org/10.1016/S0309-1708(02)00056-8).
- López Díez, A.; Máyer Suárez, P.; Díaz Pacheco, J.; Dorta Antequera, P. (2019) Rainfall and Flooding in Coastal Tourist Areas of the Canary Islands (Spain). *Atmosphere*, 10, 809. <https://doi.org/10.3390/atmos10120809>
- Mendes, D. and Marengo, J. (2013) Temporal downscaling: a comparison between artificial neural network and autocorrelation techniques over the Amazon Basin in present and future climate change scenarios. *Theoretical and Applied Climatology*, 100, 413–421. <https://doi.org/10.1007/s00704-009-0193-y>.
- Pérez, J.C., J.P. Díaz, A. González, F.J. Expósito, F. Rivera-Lopez, D. Taima, (2014). Evaluation of WRF Parameterizations for Dynamical Downscaling in the Canary Islands. *Journal of Climate* 27, 5611-5631.
<https://www.doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00458.1>
- Puyol, D.G., Herrera, R.G., Martín, E.H., Presa, L.G., Rodríguez, P.R. (2002). Major influences on precipitation in the Canary Islands. In: Beniston, M. (eds) *Climatic Change: Implications for the Hydrological Cycle and for Water Management*. *Advances in Global Change Research*, vol 10. Springer, Dordrecht.
https://doi.org/10.1007/0-306-47983-4_3
- San-Martín, D., Manzananas, R., Brands, S., Herrera, S. and Gutiérrez, J.M. (2017) Reassessing model uncertainty for regional projections of precipitation with an ensemble of statistical downscaling methods. *Journal of Climate*, 30(1), 203–223.
<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0366.1>
- Serrano-Notivol, R., Beguería, S., Saz, M. Á., Longares, L. A., and de Luis, M. (2017). SPREAD: a high-resolution daily gridded precipitation dataset for Spain – an extreme events frequency and intensity overview, *Earth Syst. Sci. Data*, 9, 721–738,
<https://doi.org/10.5194/essd-9-721-2017>
- Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, M. G Duda, X.-Y. Huang, W. Wang, and J. G. Powers, (2008). A Description of the Advanced Research WRF Version 3. NCAR Tech. Note NCAR/TN-475+STR, 113 pp. doi:
<https://www.doi.org/10.5065/D68S4MV>
- Taylor, K.E., R.J. Stouffer, G.A. Meehl, (2012). An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society* 93, 485–498 American Meteorological Society.
<https://www.doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>
- Wilby, R., Dawson, C. and Barrow, E.M. (2002a) SDSM—a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling & Software*, 17, 145–157. [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(01\)00060-3](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(01)00060-3).
- Wilby, R. L., Conway, D., y Jones, P. D. (2002b). Prospects for downscaling seasonal precipitation variability using conditioned weather generator parameters. *Hydrological Processes*, 16(6), 1215-1234. <https://doi.org/10.1002/hyp.1058>

Zorita, E. and von Storch, H. (1999) The analog method as a simple statistical downscaling technique: comparison with more complicated methods. *Journal of Climate*, 12, 2474–2489. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1999\)012](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012)