

# **Impactos del cambio climático en humedales afectados por aguas subterráneas (IMAGUA) - Fases I y II**

Emma Gaitán<sup>1</sup>, Lorena Bermejo<sup>2</sup>, Lorena Galiano<sup>1</sup>, Jaime Ribalaygua<sup>1</sup>, Luis Juncosa<sup>2</sup>,  
Robert Monjo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fundación para la Investigación del Clima - Climate Research Foundation

<sup>2</sup>Compañía General de Soporte a la Ingeniería, S. L.

## **Introducción**

Las proyecciones climáticas auguran un clima cada vez más cálido y con precipitaciones más escasas en los periodos ya de por sí secos (los mínimos estivales), propios de nuestro clima Mediterráneo. Ante este hecho, se hace necesario el análisis de las consecuencias que el cambio climático tendrá sobre los recursos hídricos. En concreto, los humedales son puntos clave donde el impacto de la escasez pluviométrica puede repercutir de forma notable en las próximas décadas, condicionando las características óptimas para los ecosistemas que habitan en ellos.

Bajo este contexto nació el proyecto “Impactos del cambio climático en humedales afectados por AGUAs subterráneas (IMAGUA)”. En su primera fase, se analizaron las repercusiones del cambio climático en los humedales asociados a Masas de Agua Subterránea (MASb). El caso piloto principal de la primera fase de IMAGUA fue de la Albufera de Anna, localizada en la Masa de Agua Subterránea (MASb) de Caroch Sur.

## **Objetivos y metodología**

Se establecieron las relaciones que existen entre los niveles piezométricos (asociados al volumen de reserva de aguas subterráneas en la MASb) y los caudales de manantiales (asociados a los recursos disponibles en el sistema), y la climatología correspondiente. Por otro lado, se generaron un conjunto de escenarios locales y regionales de cambio climático en el área de estudio, con la metodología FICLIMA. Una vez validados los escenarios, se realizaron proyecciones de los índices piezométricos del estado cuantitativo de de las reservas de agua subterránea y de las surgencias de manantiales con un análisis probabilístico de impactos previsibles sobre la MASb y por tanto del humedal. Finalmente también se analizó la influencia del cambio climático en la calidad del agua en un estudio piloto en la Cuenca Hidrográfica del Júcar.

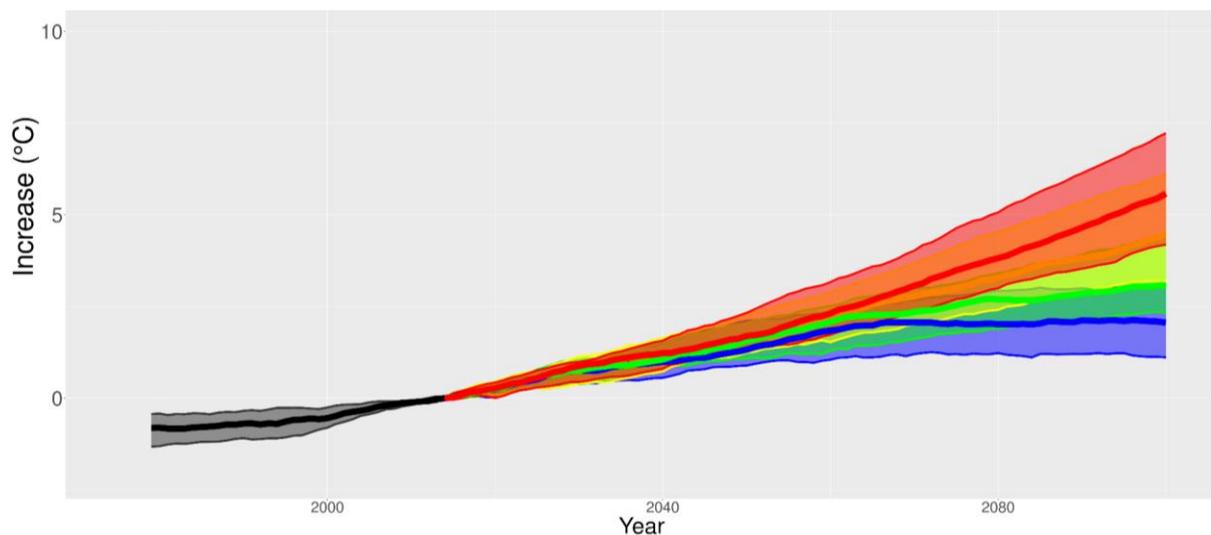
En la segunda fase de IMAGUA se pretende ir un paso más allá y realizar estimaciones de los impactos más importantes de la variabilidad climática extrema sobre las aguas subterráneas y humedales asociados a las mismas, teniendo en cuenta los modelos más actuales de cambio climático, del sexto informe del IPCC. Partiendo de los resultados de la primera fase del proyecto, donde se obtuvieron proyecciones de la masa de agua subterránea en base al clima futuro local (regionalizado con el método FICLIMA), se realizarán estimaciones sobre cómo afecta la variabilidad extrema (periodos largos de sequías y episodios de gran concentración de la lluvia) sobre las aguas subterráneas y humedales. La variabilidad climática se medirá a diferentes escalas temporales (estacional,

diaria y subdiaria), con el fin de estimar la escala de respuesta de los humedales y aguas subterráneas. Además, el proyecto se extenderá geográficamente, al menos a otra masa de agua de características similares que abarque más de una comunidad autónoma, con suficientes datos para afrontar el estudio.

## Resultados y conclusiones

### *Evolución del clima a escala local*

Desde un punto de vista climático, se espera que aumenten las temperaturas entre 1° y 2,5 °C en las próximas décadas (2021-2050) respecto a la media reciente (1986-2015), con un consenso para todos los escenarios de emisiones. A final de siglo, la media anual de las temperaturas mínimas y máximas diarias podría ascender hasta hasta 4 °C bajo el escenario medio (SSP2-4.5) y hasta los 7 °C bajo el escenario más pesimista (SSP5-8.5).

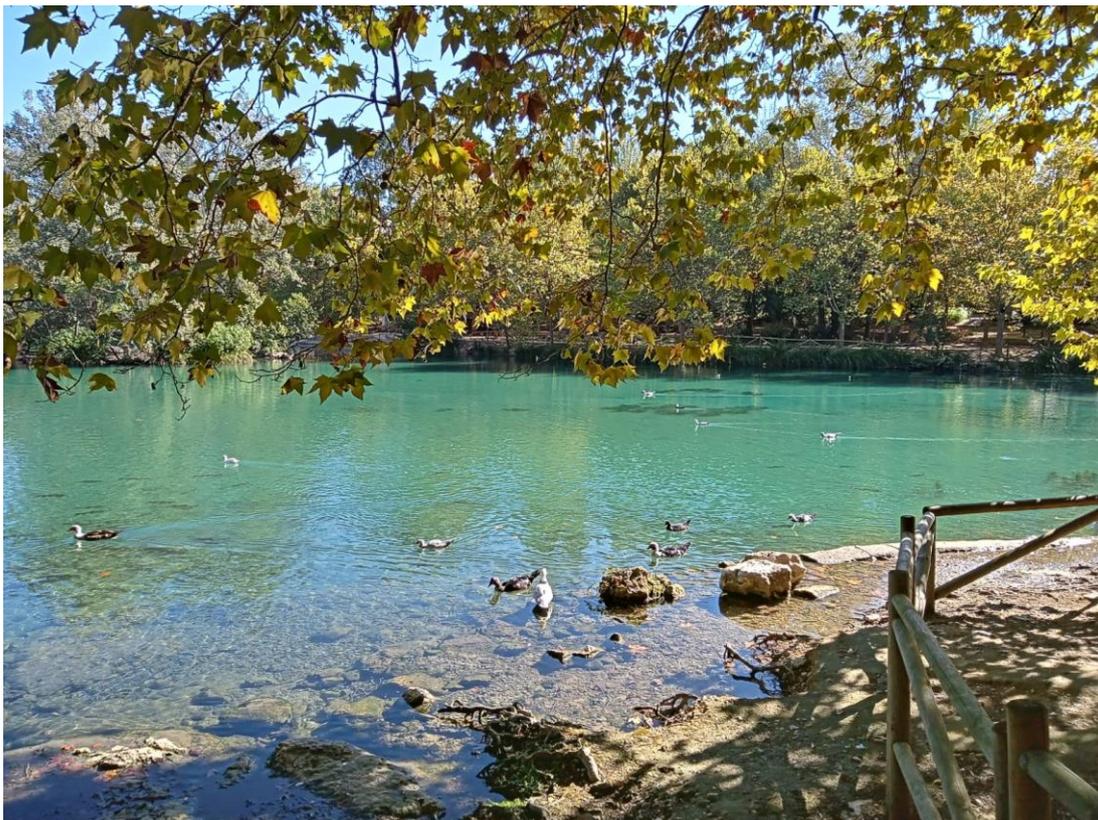


**Figura 1.** Proyección futura de la temperatura máxima diaria para el área de estudio (estación 82910), de acuerdo con un conjunto de 10 modelos del CMIP6 regionalizados con el método FICLIMA, simulados bajo el experimento HISTORICAL (gris) y proyectada bajo cuatro escenarios de emisiones: SSP1-2.6 (azul), SSP2-4.5 (verde), SSP3-7.0 (naranja), SSP5-8.5 (rojo). Las áreas sombreadas representan el rango de incertidumbre entre el 10 y el 90%, mientras que las líneas gruesas representan la proyección mediana.

A nivel estacional, se observa una disminución muy significativa de la precipitación en verano y menos significativa en invierno, mientras que se mantiene en primavera y puede haber un ligero incremento en otoño en algunos puntos. Aunque, el escenario más pesimista muestra que la precipitación anual podría disminuir hasta un 20% a mediados de siglo, en términos generales la precipitación anual en la vertiente mediterránea no presenta cambios estadísticamente significativos en general. Sin embargo, se proyecta un claro descenso del número de días con precipitación y un incremento de la concentración de la lluvia. Es decir, llueve casi lo mismo pero repartido en menos días, de forma más intensa (torrencial), y por lo tanto habrá más escorrentía, con menos percolación hacia aguas subterráneas, repercutiendo en la disminución de recargas hídricas y peor calidad de agua que se suma a una mayor evapotranspiración.

## *Impactos en los humedales: El caso de l'Albufera d'Anna*

Para evaluar la afección del cambio climático sobre los recursos en este humedal se han llevado a cabo correlaciones entre la precipitación y los caudales registrados en el manantial que abastece a la Albufera de Anna. Dado que en la zona se dispone de 13 estaciones de registro pluviométrico, con el objetivo de conseguir buenos ajustes y alcanzar resultados precisos, se ha creado un algoritmo con los datos procedentes de las mismas en el que se ha dado un coeficiente de peso a cada una de las estaciones en función del inverso del cuadrado de la distancia a la laguna de Anna. Con el sumatorio creado con este algoritmo, y recortando los datos a la serie temporal de datos disponible para el manantial, se ha correlacionado con los datos de caudal obteniendo una recta de ajuste de grado 1 con un coeficiente de determinación de 0,6384 lo que supone un coeficiente de correlación cercano al 0,8, lo cual es una correlación fuerte.

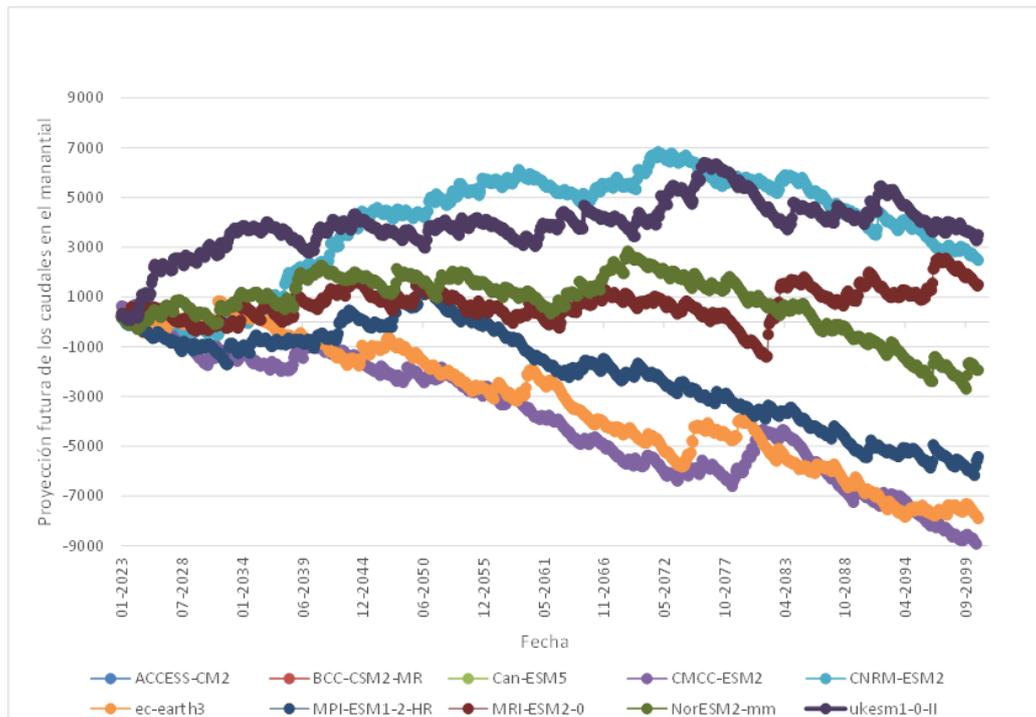


**Figura 2.** Albufera de Anna. Humedal donde se ha llevado a cabo el caso de estudio de la Fase II del proyecto IMAGUA.

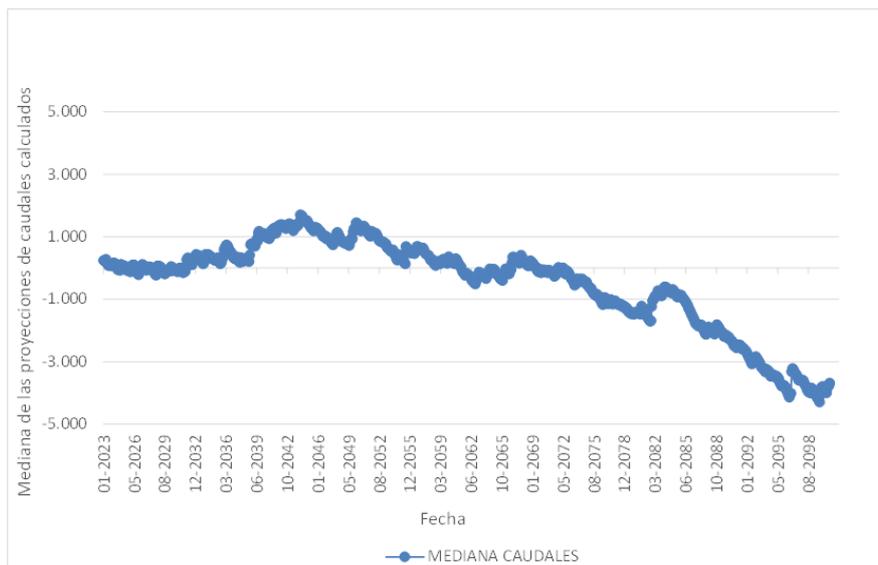
Por otro lado, se ha llevado a cabo otra prueba con el manantial, realizando correlaciones entre el caudal y la pluviometría de la estación pluviométrica más cercana, la 8277a, para el mismo espacio temporal de datos. En este caso la recta de correlación genera mejores ajustes con un  $R^2$  de 0,6475, lo cual es un coeficiente de correlación de 0,8.

Empleando esta función de ajuste en los datos de proyecciones futuras de pluviometría en el escenario 8.5, que es el más restrictivo, y teniendo en cuenta todos los modelos climáticos, se pueden observar unos descensos continuados de

caudal en el manantial que incluso podrían llegar a comprometer la existencia del mismo a partir de mediados de siglo, lo que supondría un impacto gravísimo sobre el ecosistema asociado al manantial y los caudales ecológicos correspondientes que es preciso considerar.



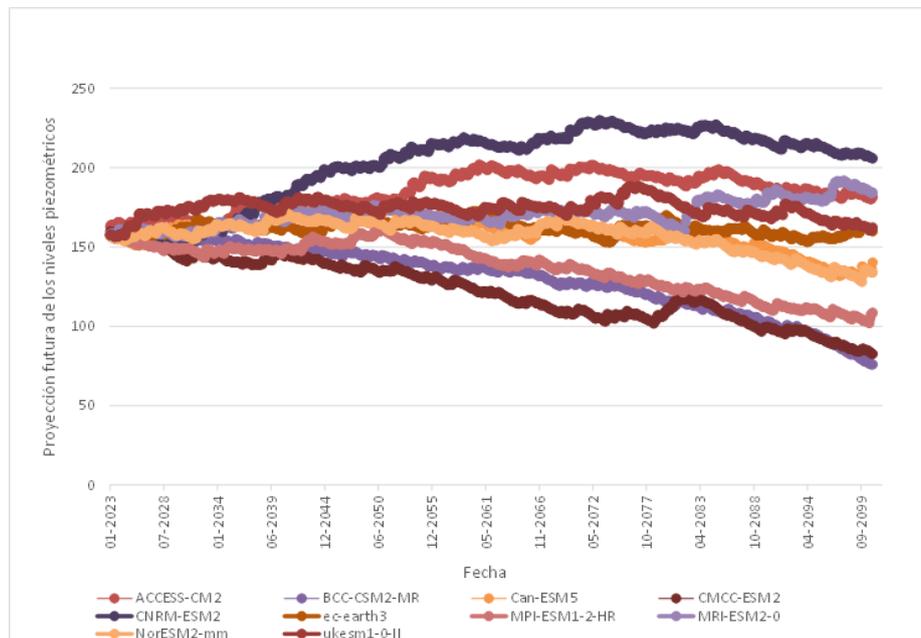
**Figura 3.** Evolución futura de los caudales del manantial que abastece a la Albufera de Anna en todos los modelos climáticos estudiados para el escenario SSP5-8.5.



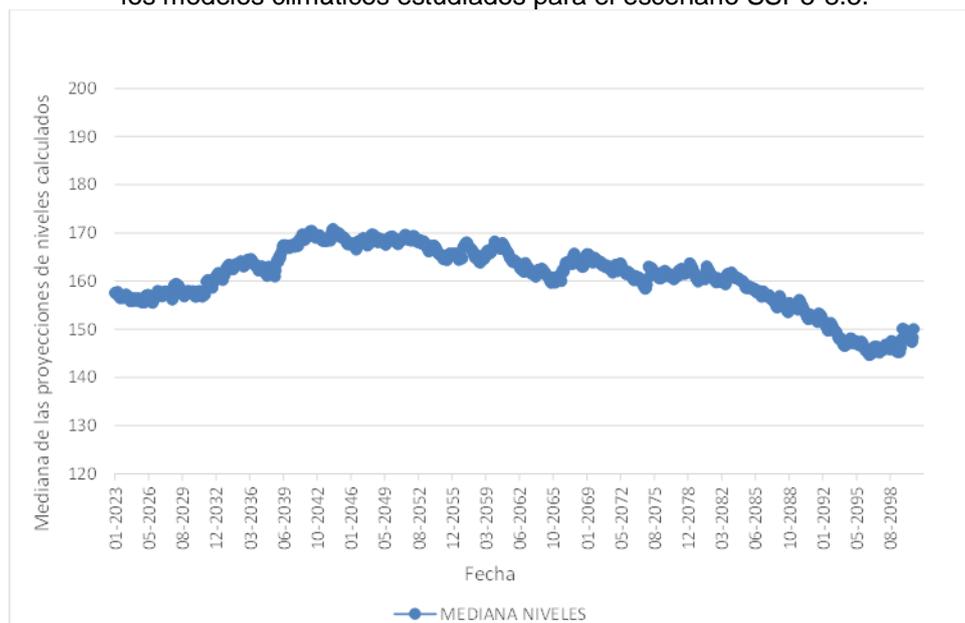
**Figura 4.** Mediana de la evolución futura de los caudales del manantial que abastece a la Albufera de Anna para el escenario SSP5-8.5.

Para evaluar la afección del cambio climático sobre las reservas del acuífero se han llevado a cabo correlaciones entre el algoritmo de precipitación creado y los niveles

piezométricos que determinan las citadas reservas, en concreto con los niveles registrados en el punto de control 08.28.001. La recta de ajuste de estos datos arroja un R2 de 0,3807, que corresponde a un coeficiente de correlación moderado de 0,62. Este coeficiente se ha obtenido además aplicando un decalaje de 1 mes a los datos ya que el ajuste era mejor, es decir, la precipitación caída en un mes determinado se registra en el piezómetro de control en el siguiente mes.



**Figura 5.** Evolución futura de los niveles piezométricos en el entorno de la Albufera de Anna en todos los modelos climáticos estudiados para el escenario SSP5-8.5.



**Figura 6.** Mediana de la evolución futura de los niveles piezométricos en el entorno de la Albufera de Anna para el escenario SSP5-8.5.

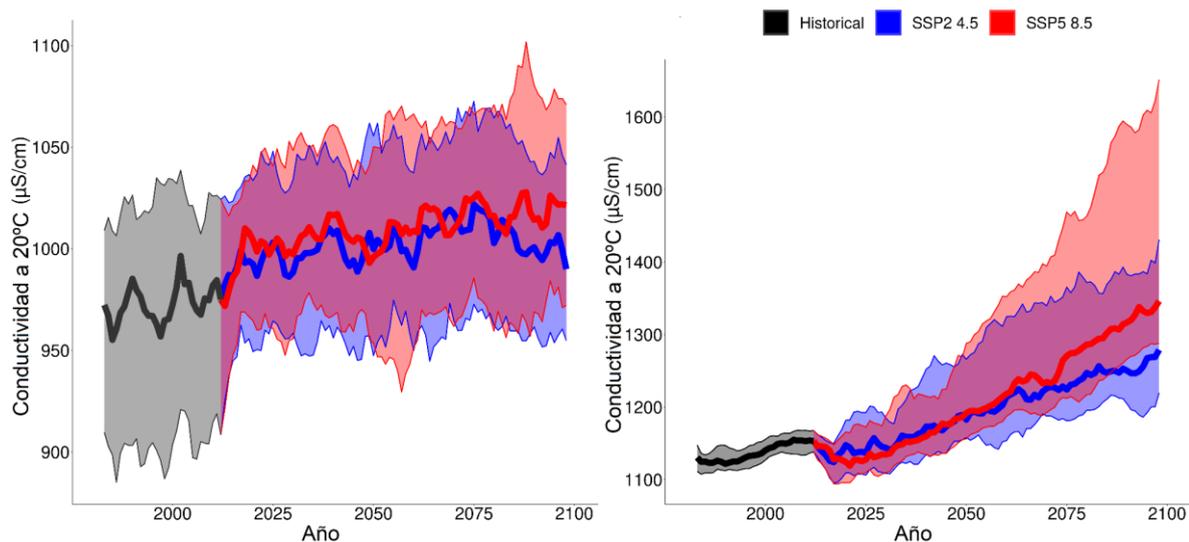
Empleando esta función de ajuste en los datos de proyecciones futuras de pluviometría en el escenario 8.5, que es el más restrictivo, y teniendo en cuenta todos los modelos climáticos, se pueden observar unos descensos en los niveles piezométricos a finales de siglo entorno a los 15 metros.

La disminución de reservas como efecto del cambio climático provoca el aumento de los costes de la energía necesaria de extracción de agua subterránea por aumento de la altura de elevación para salvar la mayor profundidad del nivel piezométrico. Hecho de gran relevancia en el entorno de crisis energética que estamos viviendo.

Además, es conveniente aprovechar la capacidad de regulación que ofrecen las masas de aguas subterráneas y utilizar las técnicas y métodos de recarga artificial de acuíferos para almacenar recursos para cuando se necesiten, utilizando los acuíferos como embalses subterráneos reguladores para la gestión hídrica conjunta de agua superficial y subterránea. La capacidad de embalse subterráneo de España es mucho mayor que la de embalse superficial. No sólo para paliar los posibles efectos medioambientales que podrían producirse en el manantial de Anna, sino también ante fenómenos extremos de sequía e inundaciones tan frecuentes en nuestro país, y que van aumentando progresivamente debido a los efectos del cambio climático, la capacidad reguladora de los acuíferos es un recurso fundamental a considerar.

### *Impactos en la calidad del agua*

En cuanto a los impactos sobre la calidad de agua, el estudio complementario de la Cuenca Hidrográfica del Júcar mostró que el cambio climático provocará un aumento de la conductividad para la estación del río Júcar, de entre un 4 y un 11% para finales de siglo (Gómez et al. 2021).



**Figura 7.** Proyección futura (media móvil de 5 años) de los valores diarios de conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) simulada en: la instalación de La Presa (izquierda) y aguas arriba del río Túrria (derecha). Las líneas continuas negras, azules y rojas más gruesas corresponden al cuantil 50 de los valores obtenidos para los diferentes modelos CMIP6 en la simulación histórica y para los escenarios de emisión SSP2 4.5 y SSP5 8.5, respectivamente. En sombreado, el rango de valores entre los cuantiles 10 y 90 se muestra en gris, azul y rojo para los experimentos Historical, SSP2 4.5 y SSP5 8.5, respectivamente.

# Anexo. Material y datos

## *Área de estudio y observaciones*

Para el caso piloto principal de la primera fase de IMAGUA se seleccionó la Albufera de Anna, debido a que dispone de piezómetros con extensos registros piezométricos y de caudales de manantiales asociados a dicho humedal.

El Lago de la Albufera de Anna, es un pequeño lago de origen natural, que se encuentra a poco más 1 km de distancia del municipio de Anna y a una altitud de unos 200 metros sobre el nivel del mar. El lago tiene su origen en una polisurgencia, es decir, múltiples nacimientos de agua desde sus profundidades que incluso posibilitaron asentamientos humanos en este paraje desde el Mesolítico. Más tarde en el s XII los habitantes de la época quisieron aprovechar estas surgencias para regadío de la zona por lo que construyeron diques/azudes para embalsar el agua. La Albufera de Anna se encuentra actualmente regulada por compuertas. Sus aguas se dirigen hacia el pueblo, conformando varios ramales. En concreto esta surgencia descarga hacia la rambla el Riajuelo, que es afluente del río Sellent.

Estas aguas subterráneas que afloran en este punto en la Albufera de Anna proceden del extensísimo acuífero del Macizo del Caroig, que se trata de una gran plataforma calcárea apoyada sobre materiales impermeables de facies Keuper. Se encuentra dentro de la MASb Caroch Sur en la demarcación hidrográfica del Júcar.

Los datos disponibles en el MITECO de aforos del manantial que descarga a la albufera comprenden el periodo de abril de 1988 hasta 2012 con registros de caudal cercanos a 1.000 l/s y algunos años en los que incluso se ha secado, presentando un patrón estacional. El caudal promedio es igual a 400 l/s, lo que supondría una aportación aproximada de 12 hm<sup>3</sup>/año.

Las variables climáticas principales que se analizaron fueron la precipitación y temperatura, recogida de los observatorios con identificadores: 8198S, 8200A, 8200B, 8005, 8289B, 8290, 8276, 8276C, 8291O. Todos ellos poseen datos de precipitación, mientras que tan solo 3 observatorios poseen datos de temperatura (8276C, 8290, 8291O).

## *Escenarios locales de clima futuro*

En este proyecto se ha generado un conjunto de escenarios locales y regionales de cambio climático en el área de estudio. Para poder generar tales escenarios locales se parte de un conjunto de iniciativas de estudio del cambio climático coordinadas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés – <https://www.ipcc.ch/>) un organismo dependiente de las Naciones Unidas creado en 1988 para facilitar evaluaciones integrales del estado de los conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos sobre el cambio climático, sus causas, posibles repercusiones y estrategias de respuesta. Estos estudios, los Informes de Evaluación del IPCC, son la mayor empresa de investigación mundial del cambio climático e involucran a los organismos internacionales más prestigiosos y de mayor capacidad investigadora. Es por eso que cualquier investigación sobre el cambio climático debe vincularse al Informe de Evaluación del IPCC más actualizado que exista, y es por eso que este proyecto se ha centrado en todo lo relacionado con el Sexto Informe de Evaluación del IPCC (<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>).

Para poder llevar a cabo un estudio así se necesitan dos elementos diferentes. Por un lado, modelos climáticos que reproduzcan el clima de todo el planeta de forma que se pueda extraer información de las posibles simulaciones realizadas con éstos. En nuestro caso hemos usado 10 modelos climáticos (Tabla 1) asociados al 6 Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6, <https://pcmdi.llnl.gov/CMIP6/>), la iniciativa de coordinación del Sexto Informe del IPCC (los datos asociados fueron suministrados gracias al Programa de Diagnóstico e Intercomparación de Modelos Climáticos o PCMDI, <https://pcmdi.llnl.gov/>).

**Tabla 1.** Resumen de información básica sobre los modelos CMIP6 empleados en el estudio.

Modelos CMIP6	Resolución horizontal (Lon x Lat)	Centro responsable	Referencia
ACCESS-CM2	1.258° x 1.8758°	Australian Community Climate and Earth System Simulator (ACCESS), Australia	Bi et al (2020)
BCC-CSM2-MR	1,125° x 1,121°	Beijing Climate Center (BCC), China Meteorological Administration, China	Wu et al (2019)
CanESM5	2,812° x 2,790°	Canadian Centre for Climate Modeling and Analysis (CC-CMA), Canadá	Swart et al (2019)
CMCC-ESM2	1,25° x 0,942°	Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC), Italia	Peano et al (2020)
CNRM-ESM2-1	1,406° x 1,401°	CNRM (Centre National de Recherches Meteorologiques), Meteo-France, Francia	Seferian (2019)
EC-EARTH3	0,703° x 0,702°	EC-EARTH Consortium, Europa	EC-Earth (2019)
MPI-ESM1-2-HR	0,938° x 0,935°	Max-Planck Institute for Meteorology (MPI-M), Alemania	von Storch et al (2017)
MRI-ESM2-0	1,125° x 1,121°	Meteorological Research Institute (MRI), Japón	Yukimoto et al (2019)
NorESM2-MM	1,250° x 0,942°	Norwegian Climate Centre (NCC), Noruega	Bentsen et al (2019)
UKESM1-0-LL	1,875° x 1,250°	Uk Met Office, Hadley Centre, Reino Unido	Good et al (2019)

Un segundo elemento necesario atiende a la simulación del clima futuro, lo que implica la definición de posibles escenarios futuros de concentración de Gases de Efecto Invernadero; bajo tales escenarios futuros se realiza la simulación de los modelos climáticos empleados. En el CMIP6 la forma en la que se consideran los escenarios de concentración futura de Gases de Efecto Invernadero es a través de los denominados SSP (Shared Socioeconomic Pathways). Se han establecido como escenarios principales a considerar en un trabajo de estudio de cambio climático (denominados Tier 1), es decir, el conjunto de escenarios futuros mínimos exigibles a estudiar, los SSP1(2.6), SSP2(4.5), SSP3(7.0) y SSP5(8.5). Además de para esos escenarios futuros se han simulado resultados para el experimento *Historical* que describe el pasado y que actúa como un escenario de control de los modelos climáticos y permite evaluar su comportamiento.

Todas estas simulaciones proporcionan diferentes escenarios futuros para diferentes modelos climáticos. Tener muchas simulaciones a partir de varios modelos y SSP (es decir, un *ensemble* de proyecciones) permite trabajar buscando la posible señal común de tales

simulaciones como medida del cambio climático, a la vez que permite medir las incertidumbres asociadas a toda simulación climática (en función de las diferencias entre proyecciones).

Esos modelos climáticos, para poder cubrir todo el planeta tierra, trabajan con rejillas de entre 100 y 200 km de resolución, lo que desaconseja el uso directo de sus salidas si se quiere estudiar el cambio climático a escala local. Es por eso por lo que es necesario realizar un proceso de regionalización o *downscaling* de los resultados directos, para adecuarlos a las características climáticas locales, ya que tales características pueden cambiar mucho en muy pocos kilómetros. En este proyecto se ha utilizado FICLIMA, una metodología de *downscaling* estadístico en dos pasos basado en análogos (Ribalaygua et al., 2013) que permite adecuar los resultados globales a los entornos locales del área de estudio, cumpliendo los requisitos técnicos exigibles a los escenarios locales de clima futuro conforme al estado del arte en modelización climática.

Antes de generar los escenarios locales de clima futuro, se ha procedido a verificar la herramienta de *downscaling* o regionalización (pese a que ya ha sido verificada satisfactoriamente en España en proyectos anteriores), para comprobar que funciona adecuadamente en las zonas de estudio. Igualmente se han llevado a cabo análisis de validación de los modelos climáticos, con objeto de comprobar cómo funcionan en dichas zonas, es decir, en qué medida sus simulaciones HISTORICAL reproducen la realidad observada. Estos análisis de verificación y validación son muy importantes, por un lado porque en ocasiones no todos los modelos climáticos funcionan bien en cierto territorio, y por otro porque los resultados de verificación y validación también son necesarios para cuantificar las incertidumbres (cuanto menores son los errores, menores son también las incertidumbres).

Los resultados de verificación de la metodología FICLIMA han sido muy satisfactorios para todas las variables analizadas, mientras que los resultados de validación de los modelos climáticos regionalizados mostraron que todos ellos aprobaron la mayoría de los tests estadísticos, principalmente el de Kolmogorov-Smirnov.

## Referencias

- Bentsen, Mats; Oliviè, Dirk Jan Leo; Seland, Øyvind; Toniazzo, Thomas; Gjermundsen, Ada; Graff, Lise Seland; Debernard, Jens Boldingh; Gupta, Alok Kumar; He, Yanchun; Kirkevåg, Alf; Schwinger, Jörg; Tjiputra, Jerry; Aas, Kjetil Schanke; Bethke, Ingo; Fan, Yuanchao; Griesfeller, Jan; Grini, Alf; Guo, Chuncheng; Ilicak, Mehmet; Karset, Inger Helene Hafsahl; Landgren, Oskar Andreas; Liakka, Johan; Moseid, Kine Onsum; Nummelin, Aleks; Spensberger, Clemens; Tang, Hui; Zhang, Zhongshi; Heinze, Christoph; Iversen, Trond; Schulz, Michael (2019). NCC NorESM2-MM model output prepared for CMIP6 ScenarioMIP. Version YYYYMMDD[1]. Earth System Grid Federation. DOI: 10.22033/ESGF/CMIP6.608.
- Bi Daohua, Dix Martin, Marsland Simon, O'Farrell Siobhan, Sullivan Arnold, Bodman Roger, Law Rachel, Harman Ian, Srbinovsky Jhan, Rashid Harun A., Dobrohotoff Peter, Mackallah Chloe, Yan Hailin, Hirst Anthony, Savita Abhishek, Dias Fabio Boeira, Woodhouse Matthew, Fiedler Russell, Heerdegen Aidan (2020) Configuration and spin-up of ACCESS-CM2, the new generation Australian Community Climate and Earth System Simulator Coupled Model. Journal of Southern Hemisphere Earth Systems Science 70, 225-251. <https://doi.org/10.1071/ES19040>

- EC-Earth Consortium (EC-Earth), 2019: EC-Earth-Consortium EC-Earth3-Veg model output prepared for CMIP6 Scenario MIP. Earth System Grid Federation. DOI:10.22033/ESGF/CMIP6.727
- Gómez-Martínez G, Galiano L, Rubio T, Prado-López C, Redolat D, Paradinas C, Gaitán E, Pedro M, Ferriz-Sánchez S, Añó M, Monjo R, Pérez-Martín MA, Almenar P, Macián J. (2021). Effects of climate change on water quality in Jucar River Basin (Spain) for urban water supply. *Water* **13**, 2424, DOI:10.3390/w13172424
- Good P., Sellar A., Tang Y., Rumbold S., Ellis R., Kelley D., Kuhlbrodt T. (2019). MOHC UKESM1.0-LL model output prepared for CMIP6 ScenarioMIP ssp245. 1].Earth System Grid Federation. DOI:10.22033/ESGF/CMIP6.6339.
- Peano, Daniele; Lovato, Tomas; Materia, Stefano (2020). *CMCC CMCC-ESM2 model output prepared for CMIP6 LS3MIP*. Version YYYYMMDD[1].Earth System Grid Federation. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.13165>
- Ribalaygua, J.; Torres, L.; Pórtoles, J.; Monjo, R.; Gaitán, E.; Pino, M.R. (2013): Description and validation of a two-step analogue/regression downscaling method. *Theoretical and Applied Climatology*, 114: 253-269. DOI 10.1007/s00704-013-0836-x.
- Seferian R. (2019). CNRM-CERFACS CNRM-ESM2-1 model output prepared for CMIP6 AerChemMIP hist-1950HC. Version YYYYMMDD[1].Earth System Grid Federation. DOI:10.22033/ESGF/CMIP6.4041.
- Swart N. C., Cole J. N. S., Kharin V. V., Lazare M., Scinocca J. F., Gillett N. P., Anstey J., Arora V., Christian J. R., Hanna S., Jiao Y., Lee W. G., Majaess F., Saenko O. A., Seiler C., Seinen C., Shao, A., Sigmond M., Solheim L., von Salzen K., Yang D. and Winter B. (2019). The Canadian Earth System Model version 5 (CanESM5.0.3), *Geosci. Model Dev.*, 12, 4823–4873, DOI:10.5194/gmd-12-4823-2019.
- Von Storch, Jin-Song; Putrasahan, Dian; Lohmann, Katja; Gutjahr, Oliver; Jungclaus, Johann; Bittner, Matthias; Haak, Helmuth; Wieners, Karl-Hermann; Giorgetta, Marco; Reick, Christian; Esch, Monika; Gayler, Veronika; de Vrese, Philipp; Raddatz, Thomas; Mauritsen, Thorsten; Behrens, Jörg; Brovkin, Victor; Claussen, Martin; Crueger, Traute; Fast, Irina; Fiedler, Stephanie; Hagemann, Stefan; Hohenegger, Cathy; Jahns, Thomas; Kloster, Silvia; Kinne, Stefan; Lasslop, Gitta; Kornblueh, Luis; Marotzke, Jochem; Matei, Daniela; Meraner, Katharina; Mikolajewicz, Uwe; Modali, Kameswarrao; Müller, Wolfgang; Nabel, Julia; Notz, Dirk; Peters, Karsten; Pincus, Robert; Pohlmann, Holger; Pongratz, Julia; Rast, Sebastian; Schmidt, Hauke; Schnur, Reiner; Schulzweida, Uwe; Six, Katharina; Stevens, Bjorn; Voigt, Aiko; Roeckner, Erich (2017). MPI-M MPIESM1.2-HR model output prepared for CMIP6 HighResMIP. Version YYYYMMDD[1]. Earth System Grid Federation. DOI: 10.22033/ESGF/CMIP6.762.
- Wu T., Lu Y., Fang Y., Xin X., Li L., Li W., Jie W., Zhang J., Liu Y., Zhang L., Zhang F., Zhang Y., Wu F., Li J., Chu M., Wang Z., Shi X., Liu X., Wei M., Huang A., Zhang Y. and Liu, X. (2019). The Beijing Climate Center Climate System Model (BCC-CSM): the main progress from CMIP5 to CMIP6 , *Geosci. Model Dev.* 12, 1573–1600. DOI:10.5194/gmd-12-1573-2019, 2019.
- Yukimoto S., Koshiro T., Kawai H., Oshima N., Yoshida, K., Urakawa S.; Tsujino H., Deushi M., Tanaka T., Hosaka M., Yoshimura H., Shindo E., Mizuta R., Ishii M., Obata A., Adachi, Y. (2019). MRI MRI-ESM2.0 model output prepared for CMIP6 CMIP. Earth System Grid Federation. DOI:10.22033/ESGF/CMIP6.621.